



Agron Science
Instituição Organizadora

**PESQUISAS E AVANÇOS EM QUÍMICA
DOS PRODUTOS NATURAIS**



1ª EDIÇÃO

**CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA
DOS PRODUTOS NATURAIS**

Agron Science
Instituição Organizadora

**PESQUISAS E AVANÇOS EM QUÍMICA
DOS PRODUTOS NATURAIS**





Venda proibida



Open access



Revisado por
pares

EDITOR-CHEFE

Jackson Andson de Medeiros

REVISÃO FINAL

Jackson Andson de Medeiros

CAPA

Jalmir de Medeiros Pereira

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Pesquisas e avanços em química dos produtos naturais [livro eletrônico] / [organização Agron Science]. -- Jardim do Seridó, RN : Agron Science, 2023.
PDF

Vários colaboradores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-999658-1-4

1. Óleos essenciais - Uso terapêutico
2. Produtos naturais 3. Química - Estudo e ensino

23-157583

CDD-540.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Química : Estudo e ensino 540.7

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129



doi.org/10.53934/9786599965814

Todas as opiniões e textos presentes neste livro são de inteira responsabilidade de seus autores e coautores.

Comissão Avaliadora

Antonio Salatino

Arildo José Braz de Oliveira

Bruno César de Albuquerque Ugoline

Fauller Henrique da Fonseca

Fernanda Barbisan

Georgiana Eurides de Carvalho Marques

Gerlane Souza de Lima

Harold Ardila

Jackson Andson de Medeiros

Jairelda Sousa Rodrigues

José Armando Júnior

Juliana Mesquita Freire

Leticia Bueno dos Santos

Lucinéia dos Santos

Magda Elisa Turini da Cunha

Marcos William de Lima Gualque

Maria José Vieira Fonseca

Matheus Sobral Silveira

Apresentação

O Livro é composto por trabalhos publicados no I Congresso Brasileiro de Química dos Produtos Naturais, foi um evento que trouxe diferentes áreas importantes e atuais dentro da química dos produtos naturais e também incentivou a troca de experiências entre discentes, docentes e empresários, promovendo o desenvolvimento científico e tecnológico da ciência em um ambiente totalmente virtual, eliminando os impedimentos de locomoção de alguns cientistas e procurando elevar a participação de diferentes congressistas de diversos estados.

As áreas contempladas no livro foram: Atividades biológicas de produtos naturais; Biossíntese de produtos naturais; Identificação e caracterização; Isolamento e purificação; Pesquisa e desenvolvimento de novos produtos.

Capítulo 01	7
RESUMOS SIMPLES PUBLICADOS NO I CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA DOS PRODUTOS NATURAIS	7
POTENCIAL DE EXTRATOS VEGETAIS DE STACHYS BYZANTINA (PEIXINHO-DA-HORTA) NA INIBIÇÃO DA ENZIMA TIROSINASE	8
PRODUÇÃO DE GEL FITOTERÁPICO COM EXTRATO GLICÓLICO DE <i>Varronia curassavica</i> JACQ.....	9
INFLUÊNCIA DOS PROBIÓTICOS E ÓLEOS ESSENCIAIS, ADICIONADOS EM COBERTURAS COMESTÍVEIS, PARA PROLONGAR A VIDA DE PRATELEIRA DE CARNES BOVINAS FRESCAS	10
SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO LIGANTE E-4-NITROFENIL-IMINO-FENOL	11
PERFIL QUÍMICO E ATIVIDADE ANTILEISHMANIA DE <i>Vismia</i> spp.....	12
COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS CASCAS DA LARANJA.....	13
POTENCIAL ANTIOXIDANTE DAS ESPÉCIES DE <i>Vismia cayennensis</i> e <i>Vismia guianensis</i>	14
POTENCIAL ANTIOXIDANTE <i>IN VITRO</i> DO BIORESÍDUO DO JATOBÁ	15
<i>Plectranthus neochilus</i>: AVALIAÇÃO ANATÔMICA DE FOLHAS E POTENCIAL MEDICINAL DE SEU ÓLEO ESSENCIAL	16
POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE EXTRATOS ETANÓLICOS DE PLANTAS NATIVAS SOBRE ESPÉCIES DE <i>CRYPTOCOCCUS</i> E <i>CANDIDA</i>	17
AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS PARTES AÉREAS DE <i>STACHYS BYZANTINA</i>.....	18
Capítulo 02	
Doi.org/10.53934/9786599965814-2.....	19
USO <i>IN VITRO</i> DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA O CONTROLE DE SCLEROTINIA SCLEROTIUM: REVISÃO DE LITERATURA.....	19
Capítulo 03	
Doi.org/10.53934/9786599965814-03.....	32
EFEITO <i>IN VITRO</i> DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EMITIDOS POR ÓLEO ESSENCIAL DE EUCALIPTO SOBRE <i>MELOIDOGYNE</i> SPP.....	32
Capítulo 04	
Doi.org/10.53934/9786599965814-04.....	40
ENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: REVISÃO DE LITERATURA ...	40

Capítulo 05	
Doi.org/10.53934/9786599965814-05	48
REVESTIMENTO ATIVO DE AMIDO DE MANDIOCA COM EXTRATO DE	
<i>Momordica charantia</i> L. PARA CONTROLE <i>in vitro</i> de <i>Colletotrichum</i>	
<i>gloesporioides</i>.....	48
Capítulo 06	
Doi.org/10.53934/9786599965814-06	56
BIOSSÍNTESE DE ÓLEOS ESSENCIAIS: UMA MINI REVISÃO.....	56
Capítulo 07	
Doi.org/10.53934/9786599965814-07	64
REVESTIMENTO ATIVO BIODEGRADÁVEL PARA CAJUS: UMA	
TECNOLOGIA DE COMERCIALIZAÇÃO PÓS-COLHEITA	64
Capítulo 08	
Doi.org/10.53934/9786599965814-08	75
PINHÃO-ROXO (<i>Jatropha gossypifolia</i>): UMA REVISÃO DE LITERATURA	
DOS USOS TRADICIONAIS, ATIVIDADE BIOLÓGICA E	
CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA	75
Capítulo 09	
Doi.org/10.53934/9786599965814-09	88
GÊNERO ERYTHROXYLUM: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM	
ENFOQUE NA FARMACOLOGIA DE PRODUTOS NATURAIS.....	88
Capítulo 10	
Doi.org/10.53934/9786599965814-10	98
ANÁLISE DO PERFIL BIOLÓGICO E FARMACOLÓGICO DO CAJUEIRO	
(<i>Anacardium occidentale</i>)	98
Capítulo 11	
Doi.org/10.53934/9786599965814-11	112
ANTOCIANINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE FLORES DE ERVILHA	
BORBOLETA (<i>Clitoria ternatea</i>): REVISÃO DE LITERATURA DO	
POTENCIAL FITOTERÁPICO E TECNOLÓGICO	112
Capítulo 12	
Doi.org/10.53934/9786599965814-12	127
AÇÃO ANTIMOCROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE	127
Capítulo 13	
Doi.org/10.53934/9786599965814-13	134
LUTEÍNA: EXTRAÇÃO, BIODISPONIBILIDADE, POTENCIAL BIOATIVO E	
APLICAÇÕES INDUSTRIAIS.....	134

Capítulo 14	
Doi.org/10.53934/9786599965814-14	145
BIOATIVIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS COMO MODULADORES DE ENZIMAS INFLAMATÓRIAS (PROTEASES E FOSFOLIPASES A₂): UMA BREVE REVISÃO	145
Capítulo 15	
Doi.org/10.53934/9786599965814-15	160
COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE JUÇARA (<i>Euterpe edulis</i> Martius) DA MATA ATLÂNTICA: UMA REVISÃO DE LITERATURA	160
Capítulo 16	
Doi.org/10.53934/9786599965814-16	172
RESPOSTA ADAPTATIVA DE <i>Escherichia coli</i> ENTEROTOXIGÊNICA AO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Origanum vulgare</i> (ORÉGANO)	172
Capítulo 17	
Doi.org/10.53934/9786599965814-17	180
ANÁLISE DA TOXICIDADE MATERNA E EMBRIOFETAL DA ADMINISTRAÇÃO DO EXTRATO AQUOSO DAS FOLHAS DE <i>Moringa oleifera</i> EM RATAS	180
Capítulo 18	
Doi.org/10.53934/9786599965814-18	190
ASTAXANTINA: FONTES, ESTRUTURA, POTENCIAL BIOATIVO E ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO	190
Capítulo 19	
Doi.org/10.53934/9786599965814-19	201
AÇÃO ANTIBACTERIANA DE ÓLEOS ESSENCIAIS ISOLADOS E COMBINADOS SOBRE <i>Listeria monocytogenes</i>	201
Capítulo 20	
Doi.org/10.53934/9786599965814-20	211
EXTRAÇÃO DE CAROTENOIDES PRODUZIDOS POR <i>Rhodotorula mucilaginosa</i>: EFEITO DE DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS NA BIOMASSA	211
Capítulo 21	
Doi.org/10.53934/9786599965814-21	218
CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA DE ESPÉCIES VEGETAIS DA FAMÍLIA ANACARDIACEAE: UMA BREVE REVISÃO DE LITERATURA	218

Capítulo 22	
Doi.org/10.53934/9786599965814-22	228
RELEVÂNCIA DO ÓLEO ESSENCIAL DA PANC PEIXINHO-DA-HORTA: UMA REVISÃO	228
Capítulo 23	
Doi.org/10.53934/9786599965814-23	235
POTENCIAL FITOTERAPEUTICO DA <i>CENTELLA ASIATICA</i> (L.) URBAN (GOTU KOLA) BASEADO NO USO DO AYURVEDA	235
Capítulo 24	
Doi.org/10.53934/9786599965814-24	244
ANÁLISE FITOQUÍMICA DO MANJERICÃO (<i>Ocimum basilicum</i>): UMA REVISÃO DE LITERATURA.....	244
Capítulo 25	
Doi.org/10.53934/9786599965814-25	258
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE E ATIVIDADE HEMOLÍTICA DE EXTRATOS ETANÓLICOS: <i>Anacardium occidentale</i> E <i>Spondias tuberosa</i>	258
Capítulo 26	
Doi.org/10.53934/9786599965814-26	270
REVESTIMENTO COMESTÍVEIS PARA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTAS CLIMATÉRICAS: REVISÃO DE LITERATURA	270
Capítulo 27	
Doi.org/10.53934/9786599965814-27	282
ASPECTOS ETNOBOTÂNICOS, ATIVIDADES BIOLÓGICAS E CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA DO MASTRUZ (<i>Chenopodium ambrosioides</i>): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	282
Capítulo 28	
Doi.org/10.53934/9786599965814-28	296
FENÓIS TOTAIS DE DIFERENTES EXTRATOS DAS FOLHAS DE <i>Senegalia bahiensis</i> (Benth.) Seigler & Ebinger	296
Capítulo 29	
Doi.org/10.53934/9786599965814-29	302
AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO PERFIL CROMATOGRÁFICO DE LOTES COMERCIAIS DE CHÁ DE CAPIM-SANTO, <i>Cymbopogon citratus</i>	302
Capítulo 30	
Doi.org/10.53934/9786599965814-30	312
CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DE BAMBU COMO POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS	312

Capítulo 31	
Doi.org/10.53934/9786599965814-31	320
COMPOSTOS BIOATIVOS, PROPRIEDADES E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO ARATICUM-DO-BREJO (<i>Annona glabra</i> Linneau)	320
Capítulo 32	
Doi.org/10.53934/9786599965814-32	330
ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A BIODISPONIBILIDADE E MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E PURIFICAÇÃO DA CURCUMINA (<i>Curcuma longa</i> L.): REVISÃO DE LITERATURA	330
Capítulo 33	
Doi.org/10.53934/9786599965814-33	342
RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS OCASIONADAS PELO ESTRESSE SALINO EM FEIJOEIROS: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA	342
Capítulo 34	
Doi.org/10.53934/9786599965814-34	350
AVALIAÇÃO FITOQUÍMICA DA POLPA FRESCA E DO RESÍDUO DE PRENSAGEM DO FRUTO DO NONI, <i>Morinda citrifolia</i> L.	350
Capítulo 35	
Doi.org/10.53934/9786599965814-35	361
PROPRIEDADES FÍSICAS DE PAINÉIS OSB (<i>ORIENTED STRAND BOARD</i>) DE BAMBU	361
Capítulo 36	
Doi.org/10.53934/9786599965814-36	368
INCORPORAÇÃO DE ANTOCIANINAS EM EMBALAGENS INTELIGENTES: UMA REVISÃO DO POTENCIAL AGENTE INDICADOR DE pH PARA DETECTAR O FRESCOR DO LEITE	368
Capítulo 37	
Doi.org/10.53934/9786599965814-37	383
AS ABÓBORAS, CAROTENOIDES CARACTERÍSTICOS E POTENCIAL ALIMENTAR FUNCIONAL DE SUAS SEMENTES: REVISÃO DE LITERATURA	383
Capítulo 38	
Doi.org/10.53934/9786599965814-38	394
ANTOCIANINAS COMO INGREDIENTE FUNCIONAL: APLICAÇÃO TECNOLÓGICA UTILIZANDO A MICROENCAPSULAÇÃO	394
Capítulo 39	
Doi.org/10.53934/9786599965814-39	405
A IMPOTÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MICROENCAPSULAÇÃO PARA ÓLEOS ESSENCIAIS: UMA REVISÃO	405

Capítulo 40	
Doi.org/10.53934/9786599965814-40	420
FERMENTADO ALCOÓLICO DE EXTRATO DO CAROÇO DE AÇAÍ (<i>EUTERPE OLERACEA MART.</i>) ENRIQUECIDO COM POLPA DE CARAMBOLA DA VARIEDADE ARKIN (<i>AVERRHOA CARAMBOLA L.</i>)	420
Capítulo 41	
Doi.org/10.53934/9786599965814-41	432
INOVAÇÕES NA CONSERVAÇÃO DE CARNES E PRODUTOS CÁRNEOS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE ÓLEOS ESSENCIAIS EM EMBALAGENS ATIVAS	432
Capítulo 42	
Doi.org/10.53934/9786599965814-42	447
EFEITO CURATIVO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO-DA-ÍNDIA NO CONTROLE PÓS COLHEITA DE <i>MONILINIA FRUCTICOLA</i>, EM PÊSSEGO	447

Capítulo 01

RESUMOS SIMPLES PUBLICADOS NO I CONGRESSO BRASILEIRO DE
QUÍMICA DOS PRODUTOS NATURAIS

POTENCIAL DE EXTRATOS VEGETAIS DE *STACHYS BYZANTINA* (PEIXINHO-DA-HORTA) NA INIBIÇÃO DA ENZIMA TIROSINASE

Victor Campana Leite¹; Luísa Souza Calderano²; Pedro Henrique Santos de Freitas³; Jair Adriano Kopke de Aguiar⁴, Nicolás de Castro Campos Pinto⁵

¹Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos - UFJF. ²Estudante do curso de Farmácia – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos – UFJF. ³Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos - UFJF. ⁴Docente/pesquisador do Departamento de Bioquímica – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos – UFJF. ⁵Docente/pesquisador do Laboratório de Glicoconjugados, Departamento de Bioquímica – Universidade Federal de Juiz de Fora.

Introdução. A presença de uma quantidade elevada de melanina em regiões específicas da pele é um distúrbio associado à ação da tirosinase. Essa alteração pode ser originada por diversas razões, incluindo exposição ao sol, inflamação, idade elevada, condições genéticas e desajustes hormonais. Esse processo pode resultar em problemas como hiperpigmentação, *age spot*, melasma e outras comorbidades que geram desde efeitos estéticos negativos, devido à manifestação de manchas ou zonas escurecidas na pele, até problemas graves, como o melanoma. **Objetivo.** Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade do extrato vegetal da planta *Stachys Byzantina* (peixinho-da-horta) e de suas partições em inibir a atividade da tirosinase. **Métodos.** Para isso, realizou-se o preparo do extrato etanólico (EE) e suas partições, obtidas utilizando diferentes solventes em ordem crescente de polaridade: hexano, diclorometano e acetato de etila. Para verificar a inibição da tirosinase, inicialmente realizou-se a bioautografia em cromatografia em camada delgada. Neste método, utilizou-se uma fase móvel composta de hexano e acetato de etila (80:20) para a partição hexano e outra composta por acetato de etila, ácido fórmico, ácido acético glacial e água (100:11:11:26) para as demais partições e EE. Após a corrida, realizou-se a reação enzimática da tirosinase com L-tirosina em cada *spot* e em cada banda da cromatoplaça. Posteriormente, realizou-se o teste de inibição da tirosinase a fim de calcular a CI_{50} do EE para melhor verificar seu potencial em inibir a melanogênese. Esse teste fundamenta-se na análise do produto de degradação da L-tirosina, o dopacromo, pela leitura em espectrofotômetro a 450nm. **Resultados.** A reação nas cromatoplaças gera uma coloração escura, característica da formação da eumelanina. Todavia, quando a enzima é inibida, essa coloração fica mais clara ou sem cor e, assim, é possível identificar quais regiões possuem atividade. Em todas as amostras algum *spot* ou banda apresentou perda da coloração após a reação, demonstrando regiões e/ou compostos que inibem a tirosinase. EE apresentou um CI_{50} de $5,968 \pm 0,9536$ (mg/mL) e uma inibição de 29,55% na concentração de 350 μ g/mL. **Conclusão.** Foi possível observar que o EE é capaz de reduzir a ação da tirosinase e que há a presença de compostos com essa atividade em suas partições. Futuramente, espera-se encontrar a CI_{50} de todas as partições para entender qual a mais promissora e identificar quais os compostos responsáveis pela atividade. **Agradecimentos.** FAPEMIG, CAPES e Delfino Antônio Campos pela assistência técnica.

Palavras-chave: Stachys; Tirosinase; Hiperpigmentação; Melanogênese; Peixinho-da-horta.

PRODUÇÃO DE GEL FITOTERÁPICO COM EXTRATO GLICÓLICO DE *Varronia curassavica* JACQ.

Istanielly Tigre Silva Camargo¹
Johnathan Junior Vaz Carvalho²

¹Discente de Graduação – Curso de Farmácia – Faculdade Anhanguera.
Discente de Mestrado – Saúde, Ambiente e Biodiversidade – Universidade Federal do Sul da Bahia.

²Docente/pesquisador – Curso de Farmácia – Faculdade Anhanguera.

Introdução: Ao longo dos séculos, o uso de plantas medicinais eram a única alternativa terapêutica e no tratamento dos agravos. Sendo o uso da fitoterapia muitas vezes alinhada com as praticas religiosas e sociais daquelas comunidades. Devido ao baixo custo e a fácil obtenção, e a realidade social, atualmente a fitoterapia se torna uma porta de obtenção de saúde, principalmente para pessoas de baixa renda. O Brasil tem em sua flora, uma gama gigantesca de diversidade, e devido à grande e complexa densidade de plantas medicinais, e compostos químicos presentes nelas presentes. Dentre essas plantas com propriedades medicinais é possível destacar a *Varronia curassavica* Jacq., conhecida popularmente com Erva baleeira, planta nativa da Mata Atlântica, pertencente à família Boraginaceae, e que possui diversas propriedades terapêuticas, sendo a principal delas a atividade antiinflamatória. **Objetivo:** Produzir gel fitoterápico a partir do extrato glicólico de *Varronia curassavica* Jacq. **Métodos:** A preparação do gel fitoterápico seguiu três etapas: 1º etapa - produção do extrato glicólico de Erva baleeira a partir das folhas e caule secos; 2º etapa – produção do gel base de Carbopol 940; 3º etapa – produção do gel fitoterápico a partir do extrato glicólico e do gel base de Carbopol 940 que foram produzidos nas etapas anteriores. A etapa 1 e 2 foram realizadas conforme parâmetros estabelecidos na Farmacopéia Brasileira. **Resultados:** O gel produzido ao ser observado apresentou bom aspecto físico e consistência, incolor, homogêneo e com odor agradável. Os géis constituem uma excelente forma farmacêutica, tendo em vista que estes são absorvidos rapidamente, e apresentam facilidade de incorporação dos ativos. Após armazenamento por 30 dias em temperatura ambiente, não foi observado alterações no aspecto, cor e odor do gel produzido, nem separação de fases, mantendo-se de forma homogênea. Experimentos e testes padronizados para testagem da qualidade, características químicas e efeitos do produto serão realizados futuramente. **Conclusão:** Através dessa pesquisa foi possível adquirir novos conhecimentos sobre a Erva baleeira e suas propriedades medicinais, bem como, o seu uso para a produção de medicamento fitoterápico, valorizando a flora nativa. O gel produzido apresentou bom aspecto físico, testes padronizados para melhor avaliação de suas características e efeitos testes padrões serão desenvolvidos. É possível valorizar e perceber a importância dos fitoterápicos para o tratamento de doenças ou para amenizar os seus sintomas, bem como, contribuir com a sociedade na busca de novos produtos e, ao mesmo tempo valorizar e preservar a biodiversidade.

Palavras-chave: Erva baleeira; Fitoterapia; Antiinflamatório.

INFLUÊNCIA DOS PROBIÓTICOS E ÓLEOS ESSENCIAIS, ADICIONADOS EM COBERTURAS COMESTÍVEIS, PARA PROLONGAR A VIDA DE PRATELEIRA DE CARNES BOVINAS FRESCAS

Elke Shigematsu¹; Claudia Dorta¹; Juliana Audi Giannoni¹; Flávia Maria Vasques
Farinazzi Machado¹; Renata Bonini Pardo¹

¹Docentes/pesquisadoras da Faculdade de Tecnologia “Estudante Rafael Almeida Camarinha” –
FATEC/Marília-S.P.

Introdução: Com o aumento da população mundial, o consumo de carnes também aumenta, necessitando de novas tecnologias para o abate e conservação deste produto fresco. A utilização abusiva de produtos químicos para conservação das carnes, infelizmente é frequente, e estas substâncias são nocivas à saúde do consumidor. **Objetivo:** Averiguar se a cobertura comestível à base de água de coco e alginato de sódio, adicionadas de óleos essenciais e probióticos, prolonga a vida de prateleira das carnes frescas à temperatura de $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. **Métodos:** Foram testadas quatro amostras com coberturas, compostas por alginato de sódio (1,2 g/ 70 g de água + 30 g de água de coco), glicerol (0,75 g/ 70 g de água + 30 g de água de coco) e tween 80 (0,05 g/ 70 g de água + 30 g de água de coco) (Tc), para a amostra Tc foram incorporados os *Lactobacillus acidophilus* LA3 na ordem de $2,14 \times 10^8$ UFC/g. Já os tratamentos Tca e Tco tiveram a adição dos óleos essenciais de alecrim e orégano (0,1 g/ 70 g de água + 30 g de água de coco), respectivamente, e como amostra controle foram armazenadas carnes frescas sem coberturas (Tf) à temperatura de $8\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Foram feitas análises microbiológicas e físico-químicas nos dias 1, 3 e 5 com as cinco amostras. **Resultados:** A carne fresca (Tf) apresentou a maior contagem de mesófilos heterotróficos durante os dias de armazenamento, seguida pelas amostras com coberturas, mas mesmo com estes resultados as cinco amostras estavam dentro dos padrões de segurança em alimentos, da RDC nº 60/2019. As amostras com cobertura comestível adicionadas de alecrim (Tca) e do probiótico (Tc) inibiram o crescimento de coliformes totais e *Staphylococcus aureus* nos cinco dias de armazenamento. No terceiro dia, houve um leve aumento da acidez para todas as amostras devido ao crescimento de alguns microrganismos, a qual produziram ácidos orgânicos. A diminuição do pH nas amostras, nos cinco dias, provavelmente ocorreu pelo início da deterioração do alimento pelos microrganismos. **Conclusão:** Conclui-se que a cobertura adicionada com alecrim ou probiótico retardou o crescimento de *Staphylococcus aureus* e bolores, e houve a estabilização do pH e da acidez, demonstrando que a deterioração das amostras ocorreu de forma lenta conseguindo assim aumentar o tempo de prateleira da carne fresca em 5 dias.

Palavras-chave: conservação; aditivos; revestimentos comestíveis; óleos essenciais; qualidade da carne.

SÍNTESE, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DO LIGANTE E-4-NITROFENIL-IMINO-FENOL

Ívina Thayná Miranda Trindade¹; Aquila de Souza Neves²; Jaqueline Bezerra de Araújo³; Paulo José de Sousa Maia⁴; Dominique Fernandes de Moura do Carmo⁵

¹Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos – ICET/UFAM.

²Estudante do Curso de Farmácia – ICET/UFAM

³Docente/pesquisadora de Química – IFAM

⁴Docente/pesquisador de Química – UFRJ

⁵Docente/pesquisadora de Química – ICET/UFAM

Introdução: As Bases de Schiff são compostos provenientes da condensação de aldeídos ou fenóis com aminas primárias, que se caracterizam por apresentarem em seu grupo funcional uma ligação dupla carbono-nitrogênio, com o átomo de nitrogênio ligado a um grupo arila ou alquila. Tais compostos são importantes intermediários de diversas transformações químicas e enzimáticas. Essas bases acrescidas de átomos doadores (como N, O, S, etc.) exibem amplas atividades biológicas. **Objetivo:** sintetizar, caracterizar e avaliar a atividade antioxidante do ligante tipo salicilaldiminas identificado como E-4-nitrofenil-imino-fenol. **Metodologia:** o ligante, codificado como GQB17, foi obtido a partir da reação de condensação entre bromo/anilina e o salicialdeído, em iguais razões equimolares em etanol utilizando como catalisador gotas de ácido acético glacial. Para identificação e determinação estrutural foram utilizadas técnicas de infravermelho e RMN de ¹H e ¹³C. O potencial antioxidante do composto E-4-nitrofenil-imino-fenol foi avaliado frente aos radicais DPPH e ABTS. **Resultados:** no espectro de infravermelho do ligante GQB17, foram observadas as bandas: 3550 cm⁻¹ a 3420 cm⁻¹ associadas a ligação oxigênio-hidrogênio (O-H). O dobramento fora do plano, que ocorre entre 900-690 cm⁻¹, pôde indicar que este é parassubstituído, no entanto, outros estiramentos não foram evidentes. O espectro de RMN de ¹H do composto, por sua vez, apresentou pico característico do hidrogênio da hidroxila (12,65 ppm) e outro relativo ao ¹H da azometina (8,69 ppm - HC=N). Foram identificados ainda outros sinais de hidrogênios que apontam as porções aromáticas da molécula como: 2H entre 8,15-8,13 ppm; 2H entre 7,62-7,62 ppm; 2H entre 7,46-7,42 ppm; 1H entre 7,07-7,05 ppm e 1H entre 7,01-6,97 ppm. Deste modo o ligante sintetizado pode ser identificado como E-4-nitrofenil-imino-fenol. Este ligante frente ao radical DPPH, apresentou baixa atividade antioxidante, com valor de concentração de 6,5±0,3 µM, possivelmente pela baixa capacidade redutora do grupamento hidroxila. Quando avaliado frente ao radical ABTS o mesmo demonstrou pouca efetividade do composto na inativação do radical, com IC₅₀ equivalente a 10,9±2,1µM. **Conclusão:** Foi possível sintetizar e caracterizar um ligante de salicilaldiminas. Através dos ensaios biológicos obtidos, observou-se o baixo potencial antioxidante do composto sintetizado, porém, dentre os resultados encontrados, o E-4-nitrofenil-imino-fenol foi mais ativo frente ao cátion ABTS. Espera-se dar continuidade a este estudo, através da síntese de complexos metálicos, entre o ligante sintetizado e íons metálicos de Cu (II), Ni (II) e Zn (II), além de avaliar os efeitos da complexação na atividade antioxidante frente ao radical de DPPH e ABTS.

Palavras-chave: Bases de Schiff; Ligantes; RMN; Potencial Antioxidante;

PERFIL QUÍMICO E ATIVIDADE ANTILEISHMANIA DE *Vismia* spp.

Aniele da Silva Neves Lopes¹; Bruno Bezerra Jensen²; Antônia Maria Ramos Franco²; Paulo José de Sousa Maia³; Dominique Fernandes de Moura do Carmo⁴

¹Estudante do Programa de Pós-graduação em Ciências e Tecnologia para Recursos Amazônicos - PPGCTRA – ICET/UFAM

²Docente/Pesquisador do Laboratório de Leishmaniose e Doenças de Chagas – LLDC - INPA.

³Docente/Pesquisador do Departamento de Química Inorgânica – UFRJ/Macaé

⁴Docente/Pesquisador do Laboratório de Química – ICET/UFAM

Introdução: A leishmaniose é uma doença negligenciada transmitida através da picada do mosquito hematófago flebotomíneo, ocasionado pelo protozoário da *Leishmania*. Essa doença pode afetar tanto regiões da pele e mucosa como os órgão interno do corpo, tendo um perfil epidemiológico concentrado nas regiões Norte e Nordeste. Espécies de *Vismia* destacam-se no tratamento da leishmania por produzirem exsudados através do caule, frutos e raízes. Dos estudos realizados com estas partes botânicas foi possível identificar uma vasta variedade de metabólitos secundários pertencentes a classes dos flavonóides, antraquinonas, antranóides e xantonas. Muitas atividades biológicas já foram atribuídas a estes metabólitos de acordo com dados da literatura, como por exemplo, atividade antimalarica, antileishmania e antimicrobiana. **Objetivos:** Neste contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o perfil químico e a atividade *in vitro* antileishmania dos extratos hexano, diclorometano e hidroalcolóico, dos frutos das espécies *V. cayennensis* e *V. guianensis*, codificados como EHVG, EDVG, EDVC e EVC, respectivamente, frente as formas promastigotas de *L. amazonensis*. **Métodos:** Os frutos das duas espécies foram coletados no entorno da cidade de Itacoatiara e a resina presente no interior dos frutos foram submetidos a extrações exaustivas com os solventes na ordem crescente de polaridade durante sete dias. Os extratos obtidos foram avaliados por Espectrometria de massas por ionização por electrospray (ESI-MS) e ionização química a pressão atmosférica (APCI-MS). A atividade antileishmania foi avaliada de acordo com a inibição do crescimento e a mortalidade de promastigotas de *L. amazonensis* nos períodos de 24, 48 e 72 h após incubação a 25° C na presença dos extratos com concentrações de 7,8 a 125µg mL⁻¹. **Resultados:** Através dos espectros de massas obtidos foi possível identificar os flavonóides quercetina e catequina, por meio da análise dos fragmentos de cada substância e em comparação com dados da literatura. Observou-se que o extrato hidroalcolóico EVC apresentou o melhor desempenho quanto à atividade antileishmania com IC₅₀ = 74,07µg mL⁻¹ durante as 48h de incubação. **Conclusão:** Apesar da baixa atividade observada pelos compostos, estes resultados permitem propor a continuidade dos estudos para o isolamento e estudo da atividade antileishmania de outras substâncias presentes nos extratos de *V. cayennensis* e *V. guianensis*.

Palavras-chave: doença negligenciada; leishmaniose; vismia; produtos naturais.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL DAS CASCAS DA LARANJA

Vitor Hugo Neves da Silva¹; Rafaela Rolim da Silva²; Ívina Thayná Miranda Trindade³; Ingrid Reis da Silva⁴; Dominique Fernandes de Moura do Carmo⁵

¹Estudante do Curso de Farmácia - ICET- UFAM

²Docente/pesquisador da Universidade Federal do Amazonas. – ICET – UFAM.

Introdução: A laranja é o fruto produzido pela laranjeira *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, uma árvore pertencente à família Rutaceae, conhecida no Brasil como laranja doce, cujos princípios ativos são ricos em metabólitos secundários, como os carotenoides, as antocianinas, flavonoides, carboidratos, vitamina C e óleos essenciais (OE). **Objetivo:** Determinar o perfil químico e potencial biológico do óleo essencial das cascas de *citrus sinensis*. **Métodos:** As cascas foram coletadas no município de Rio Preto da Eva- Amazonas. O OE foi extraído por hidrodestilação de material das cascas frescas em aparelho de Clevenger. A análise qualitativa e quantitativa da amostra de OE foi realizada por Cromatografia Gasosa Acoplada à espectrometria de Massas (CG/EM) e as substâncias identificadas por meio de cálculo do índice aritmético de acordo com a literatura. Para avaliar a atividade biológica foi realizada a técnica de difusão em ágar na qual as bactérias indicadoras padronizadas foram semeadas com o auxílio de swab estéril em placa de Petri contendo meio Ágar Mueller Hinton. **Resultados:** Foram identificadas 33 substâncias na amostra OE sendo β -Citroneleno (7,33%), *trans* Pineno (9,63%), Car-3-em-2-one (8,43%), Limonen-10-ol (8,26%), o α -Humuleno (10,52%), β - Acoradieno (12,47%) os constituintes majoritários. O OE apresentou atividade antimicrobiana frente à *Enterococcus faecalis* e à *Escherichia coli*, com halo de inibição de 13mm (++) e 12 mm (+), respectivamente. **Conclusão:** A atividade antimicrobiana do OE das cascas de *C. sinensis* pode ser justificada pela presença dos constituintes químicos β - Acoradieno, sesquiterpeno de hidrocarboneto e *trans* Pineno, monoterpene de hidrocarboneto, os quais apresentam comprovada ação antimicrobiana atribuído à hidrofobicidade o que lhe permite uma perturbação nas membranas provocando o vazamento de constituintes celulares essenciais à sua sobrevivência e levando as bactérias à morte. Neste sentido, o OE analisada apresenta grande potencial antimicrobiano e os resultados obtidos neste trabalho podem nortear futuras pesquisas para isolamento e avaliação biológica dos compostos puros oriundos de *C. sinensis*. **Palavras-chave:** óleo essencial, plantas medicinais, *Citrus*.

POTENCIAL ANTIOXIDANTE DAS ESPÉCIES DE *Vismia* *cayennensis* e *Vismia guianensis*

Rafaela Rolim da Silva¹; Ivina Thayná Miranda Trindade²; Vitor Hugo Neves da Silva³; Jaqueline Bezerra de Araújo⁴; Dominique Fernandes de Moura do Carmo⁵

¹Programa de pós graduação em ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos. ICET-UFAM

²Programa de pós graduação em ciência e Tecnologia para Recursos Amazônicos. ICET-UFAM

³Estudante do curso de Farmácia. ICET-UFAM

⁴Docente/ pesquisadora de Química. IFAM

⁵Docente/pesquisadora de Química. ICET -UFAM

Introdução: O *stress* oxidativo tem sido associado ao desenvolvimento de muitas patologias graves, como o câncer, doenças cardíacas, doenças degenerativas como Alzheimer, também está envolvido no processo de envelhecimento. Dessa forma, a busca por novos compostos antioxidantes principalmente de origem natural, se faz cada vez mais necessário, e estudos com espécies de *Vismia* tem mostrado resultados promissores quanto a essa atividade e o possível emprego destas na produção de novas substâncias farmacológicas. **Objetivo:** Avaliar a atividade antioxidante dos extratos de *Vismia cayennensis* e *Vismia guianensis* pelo método do radical livre 1,1,difenil-2-picrilhidrazil (DPPH). **Métodos:** a capacidade antioxidante foi verificada a partir da preparação dos extratos em concentração de 1mg/mL, sendo adicionados 1000 μ L em 3900 μ L de solução de DPPH•, a análise foi realizada em espectrofotômetro a 515 nm, e a redução do radical livre foi monitorada pelo decréscimo da absorbância durante o período reacional, havendo mudança de coloração do violeta para amarelo. O padrão positivo utilizado foi o Trolox®. **Resultados:** os extratos de *Vismia guianensis* das frações hexânica (Vg-Hex) diclorometano (Vg-Dic), acetato de etila (Vg-Act) e hidroalcolóica (EVG) apresentaram expressiva capacidade de sequestrar os radicais livres DPPH•, sendo 1366,6 μ M ET, 1412,1 μ M ET, 1223,8 μ M ET e 1381,0 μ M ET, respectivamente. O extrato diclorometano de *Vismia cayennensis* (Vc-Dic) também apresentou ativo quanto ao radical livre com 1322,7 μ M ET. A expressiva atividade é caracterizada, pelos metabólitos já identificados e descritos na literatura, como a catequina, e classes como quinonas, antraquinonas, xantonas, antranoides, benzofenonas, e flavonoides em geral, estes metabólitos possuem em sua estrutura hidroxilas, que possibilitam a doação de elétrons, ocasionando a redução do 1,1,difenil-2-picrilhidrazil e conseqüentemente a diminuição da absorbância da solução no comprimento de onda de 515 nm. Dessa forma, a inibição do radical livre está ligada ao índice de compostos fenólicos presente nos extratos. **Conclusão:** as espécies avaliadas mostraram expressiva capacidade sequestrante do radical DPPH•, afirmando a necessidade de fracionamentos dos extratos para análise química visando identificar substâncias responsáveis por essa atividade, e demais ensaios antioxidantes frente a outros radicais livres, como testes de ABTS, FRAP e cooxidação de β -caroteno/ácido linoleico, que serão realizados com intuito de afirmar o potencial antioxidante das espécies e seu uso no ramo farmacológico.

Palavras chaves: Ensaio antioxidante; DPPH; extrato.

POTENCIAL ANTIOXIDANTE *IN VITRO* DO BIORESÍDUO DO JATOBÁ

Gabriela Lucca Del Angelo¹; Isabela Silva de Oliveira²; Tamires Barlati Vieira da Silva³; ²Rosane Marina Peralta⁴; Rúbia Carvalho Gomes Corrêa^{5,6}

¹Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar – UNICESUMAR.

²Egressa do Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Segurança Alimentar da Universidade Cesumar – UNICESUMAR.

³Egressa do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá.

⁴Docente e Pesquisadora no Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos da Universidade Estadual de Maringá.

⁵Docente do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas da Universidade Cesumar – UNICESUMAR.

⁶Pesquisadora no Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI – UNICESUMAR.

Introdução *Hymenaea courbaril* L., popularmente conhecida como Jatobá, é uma árvore leguminosa abundante nas florestas brasileiras. A espécie tem valor econômico pela madeira e também por possuir folhas, cascas, seiva, resina e frutos com propriedades antimicrobianas, antioxidantes, antiinflamatórias, antiplasmódicas e larvicidas. No interior da vagem a polpa farinácea de sabor doce é utilizada na culinária para enriquecer alimentos. O biorresíduo gerado pelo processamento da polpa, as cascas da vagem (fruto), ainda é subinvestigado e subexplorado. **Objetivo** O objetivo deste trabalho foi realizar uma investigação sobre a atividade antioxidante do biorresíduo do fruto de *H. courbaril*, uma biomassa usualmente descartada. **Métodos:** As vagens inteiras e maduras foram coletadas, higienizadas e a polpa e sementes foram separadas manualmente. Em seguida, as cascas das vagens foram trituradas em pedaços menores e então processadas em um moinho de facas para a obtenção de um pó fino, a farinha da casca da vagem do Jatobá (CVJ), foi peneirada para a padronização da granulometria. Para obtenção dos extratos foi utilizada metodologia convencional de maceração no skaker e proporção de CVJ/solução extratora de 1:20, ou seja, para 1 g de resíduo foi usado 20 mL de líquido extrator. Foram testados como solução extratora: (1) água deionizada e (2) solução de etanol: água deionizada (70:30 v/v). Os extratos liofilizados foram utilizados no ensaio de redução do radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) com Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico, Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, EUA) como controle positivo. **Resultados:** Os extratos apresentaram bons valores de capacidade antioxidantes, com IC₅₀ de 5,40±0,73 µg/mL para o extrato aquoso e para o extrato hidroetanólico o valor foi de 0,71±0,33 µg/mL). O extrato com maior potencial antioxidante foi o hidroetanólico, com capacidade antioxidante próxima à do Trolox (IC₅₀ = 0,11± 0,67 µg/mL). Possivelmente pela natureza dos compostos extraídos (compostos fenólicos) pela solução etanol: água. **Conclusão:** O resíduo gerado pelo processamento industrial da polpa de Jatobá apresenta potencial para ser aproveitado como fonte de moléculas e/ou extratos bioativos, seguindo o conceito de bioeconomia circular e contribuindo a exploração sustentável da espécie *H. courbaril*.

Palavras-chave: *Hymenaea courbaril* L.; Atividades biológicas; Extrato natural.

Plectranthus neochilus: AVALIAÇÃO ANATÔMICA DE FOLHAS E POTENCIAL MEDICINAL DE SEU ÓLEO ESSENCIAL

Francinaldo Filho Castro Monteiro¹; Gabriele Chaves Silva²; Fabiana Pereira Soares³

¹Graduado em Farmácia; Universidade de Fortaleza (UNIFOR).

²Estudante do Curso de Farmácia; Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Membro do Grupo de Estudos de Fitoterapia e Farmacognosia (GEFF – UNIFOR).

³Docente do Curso de Farmácia; Universidade de Fortaleza (UNIFOR). Orientadora do Grupo de Estudos de Fitoterapia e Farmacognosia (GEFF – UNIFOR)

Introdução: *Plectranthus neochilus* é uma erva perene conhecida como boldinho, boldo miúdo, boldo ou boldo-gambá, segundo a medicina popular brasileira. Esta planta aromática possui fácil adaptação territorial, tendo seu uso medicinal e ornamental difundido em continentes como América, Ásia e África. **Objetivo:** Realizar a análise microscópica de *P. neochilus* e descrever o potencial medicinal de seu óleo essencial. **Métodos:** Trata-se de um estudo experimental realizado no laboratório de Farmacognosia da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). As folhas de *P. neochilus* foram coletadas em um canteiro próximo ao Bloco F do campus da UNIFOR por volta de 9h30. Os cortes para análise histológica foram feitos na planta *in natura*, descorados com hipoclorito de sódio e corados com hematoxilina, seguindo procedimento padrão para análise de lâminas foliares vegetais. Posteriormente foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados Scielo e Scholar Google cruzando os termos “Óleo essencial” e “*Plectranthus neochilus*”. **Resultados e Conclusão:** Mediante análise anatômica da folha de *P. neochilus* foi possível observar a presença de pelos glandulares e glândulas exógenas na planta, estas apresentavam um conteúdo com coloração amarela alaranjada, indicando a presença de óleo essencial, estando em conformidade com a literatura. Apesar de ser utilizada na medicina popular como um “boldo”, a espécie *P. neochilus* comprovadamente apresenta ação esquistossomicida, antimicrobiana e repelente contra alguns insetos; atividades biológicas relacionadas, principalmente, ao seu óleo essencial rico em β -cariofileno e óxido de cariofileno

Palavras-chave: *Plectranthus neochilus*; Óleo essencial; Anatomia foliar.

POTENCIAL ANTIFÚNGICO DE EXTRATOS ETANÓLICOS DE PLANTAS NATIVAS SOBRE ESPÉCIES DE *CRYPTOCOCCUS E CANDIDA*

Mônica Maria de Almeida¹, Henrique Almeida Fróis², Karen Luise Lang³ e Gabriella Freitas Ferreira⁴

¹Estudante do Curso de Doutorado em Bioquímica e Biologia Molecular – PMBqBM – UFJF-GV

²Estudante do Curso de Medicina – UNINOVE

^{3, 4}Docente/pesquisador do Departamento de Farmácia – PMBqBM – UFJF-GV

Introdução: A frequência de micoses invasivas causadas por patógenos fungos oportunistas aumentou nas últimas décadas. Estudos recentes estimam que, em todo o mundo, infecções fúngicas matam mais de 1,5 milhões de pessoas por ano. A criptococose, uma doença infecciosa fúngica, potencialmente fatal, cosmopolita, alcançou um lugar importante na micologia clínica, devido à alta morbidade. Causada por uma levedura capsulada, *Cryptococcus*, a infecção ocorre através da inalação, pelo indivíduo, de esporos fúngicos presentes no ambiente, sendo *Cryptococcus neoformans* capaz de infectar principalmente pessoas imunodeprimidas e *Cryptococcus gattii* pessoas imunocompetentes. *Candida albicans*, um patógeno fúngico oportunista, é responsável pela maioria das infecções fúngicas graves, em mais de 90% dos casos, incluindo micoses sistêmicas. A escolha da terapia medicamentosa é baseada na forma clínica da infecção e no estado imunológico do hospedeiro. O desenvolvimento de novos fármacos precisa superar alguns desafios, pois patógenos eucarióticos, como os fungos compartilham uma relação evolutiva próxima com seus hospedeiros humanos, tornando difícil a descoberta de agentes seletivos e isentos de toxicidade. Os extratos vegetais obtidos de diversas plantas, mostram ser alternativas efetivas com potencial para desenvolver novos fármacos que poderiam ser utilizados no tratamento de tais tipos de infecções. **Objetivo:** Avaliar, *in vitro*, extratos etanólicos isolados de fontes naturais, folhas e cascas de *Myracrodruon urundeuva* (aroeira), cascas de *Anacardium occidentale* (caju), cascas de *Calycophyllum sprunceanum* (pau mulato) e cascas de *Mauritia flexuosa* (buriti) frente à linhagens de *C. neoformans* (ATCC H99 e ATCC WM 148) e *C. gattii* (R265 e WM 161) e *Candida* (*C. albicans* ATCC 10231 e *C. parapsilosis* 22019) **Metodologia:** Para tal, realizou-se o teste de concentração inibitória mínima (CIM) através do método da microdiluição em caldo, conforme descrito pelo *Clinical & Laboratory Standards Institute* (CLSI), 2008. Foi considerada a menor concentração que inibiu 100% do crescimento microbiano visualmente. **Resultados:** Os extratos de cascas de aroeira e caju apresentaram um CIM de 12,5 µg/mL e o extrato obtido das folhas, 6,25 µg/mL para todas as linhagens testadas. A CIM do extrato da casca de pau mulato variou entre 25 e 50 µg/mL, para as linhagens testadas de *C. neoformans* e *C. gattii*, respectivamente; e o extrato da casca do buriti não apresentou atividade antifúngica. **Conclusão:** Conclui-se que dentre os extratos, as folhas e cascas de aroeira e de caju apresentaram os menores valores CIM, sugerindo que possam ser úteis como protótipo para o planejamento de novas moléculas bioativas com potencial atividade contra as linhagens testadas de *Cryptococcus e Candida*.

Palavras-chave: Criptococose; Candidíase; Tratamento; Produtos naturais.

AValiação DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DAS PARTES AÉREAS DE *STACHYS BYZANTINA*

José Alisson da Silva Lima¹; Victor Campana Leite¹; Luísa Souza Calderano²; Jéssica Pereira Silva³; Nicolás de Castro Campos Pinto⁴.

¹Mestrando pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos - UFJF.

²Estudante do curso de Farmácia – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos – UFJF.

³Estudante do curso de Nutrição – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos – UFJF.

⁴Docente/pesquisador do departamento de Bioquímica – Laboratório de Produtos Naturais Bioativos – UFJF.

Introdução: O consumo de plantas e a utilização tópica de produtos à base de espécimes vegetais consideradas medicinais é um hábito comum desde o princípio da civilização. Alguns estudos descrevem que plantas do gênero *Stachys* apresentam atividade biológica frente a diversos tipos de doenças, que vão de inflamações de pele até tumores genitais. **Objetivo:** O seguinte estudo objetiva avaliar a atividade antioxidante *in vitro* do extrato etanólico (EE) e partições das partes aéreas de *Stachys byzantina*. **Métodos:** Após a colheita das folhas foi preparado o EE, em seguida particionado com solventes em ordem crescente de polaridade: Partições hexânica (PHEX), diclorometânica (PDCM) e em acetato de etila (PACT). Foi realizado o ensaio de inibição do radical óxido nítrico (NO) pelo método de Griess. Para tanto, utilizamos uma microplaca de 96 poços onde foram adicionados 125µL das amostras em triplicata (ácido gálico/AG como controle positivo, EE e partições + brancos) solubilizadas em tampão fosfato (TF) (1,6mg/1,0mL). Em seguida, nos poços adjacentes às amostras, foi adicionado 62,5µL de TF até a sexta coluna, em seguida diluição seriada. 62,5µL de nitroprussiato de sódio foi adicionado nos poços das amostras e controle negativo. 62,5µL de TF foi adicionado nos poços referentes aos brancos e controle negativo. Incubou-se a placa por 1 hora em temperatura ambiente. Após o período de incubação, adicionou-se 125µL do reagente de Griess em todos os poços. Após 10min ao abrigo da luz, realizou-se a leitura no espectrofotômetro a 540nm. Para análise estatística da porcentagem de inibição, utilizou-se as absorbâncias na seguinte fórmula: $(100 - \text{amostra} \times 100 / \text{controle negativo})$. **Resultados:** Na concentração de 250µg/mL as porcentagens de inibição para cada amostra foram: AG 41%, PHEX: 81%, EE 66%, PDCM 58%, PACT 22%. Em 125µg/mL: AG 29%, PHEX: 66%, EE 57%, PDCM 41%, PACT 18%. Em 62,5µg/mL: AG 20%, PHEX: 61%, EE 40%, PDCM 39%, PACT 15%. Em 31,25µg/mL: AG 12%, PHEX: 45%, EE 30%, PDCM 30%, PACT 15%. Em 15,62µg/mL: AG 7%, PHEX: 33%, EE 29%, PDCM 23%, PACT 14%. Em 7,81µg/mL: AG 6%, PHEX: 25%, EE 27%, PDCM 18%, PACT 14%. **Conclusão:** Por fim, as amostras de *Stachys byzantina* apresentaram relevante ação antioxidante, principalmente em relação às amostras PHEX, EE e PDCM, que demonstraram maior porcentagem de inibição em todas as concentrações e foram consideradas as mais promissoras para futuros estudos. **Agradecimentos:** FAPEMIG pelo financiamento e Delfino Antônio Campos pela assistência técnica.

Palavras-chave: Antioxidante; Plantas; Óxido Nítrico; *Stachys byzantina*.

Capítulo 02

Doi.org/10.53934/9786599965814-2

USO *IN VITRO* DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA O CONTROLE DE SCLEROTINIA SCLEROTIUM: REVISÃO DE LITERATURA

Cecília Balduino Ferreira *; Paulo Henrique Frois Correa Barros ; Carlos Henrique Milagres Ribeiro 

*Autor correspondente – Email: cecilia.ferreira1@estudante.ufla.br

Resumo: A agricultura apresenta um papel preponderante no agronegócio brasileiro, movimentando a economia do país. Devido apresentar uma diversificação de clima, vasta área destinada a plantio nos diferentes estados, permitindo assim o cultivo de diferentes culturas, como, frutíferas, hortaliças, e grandes culturas, fonte de geração de emprego e renda para muitas famílias, além de manter o homem no campo. Entretanto, há uma série de fatores como climáticos, hídricos, manejo, pragas e doenças que podem afetar ou não o desenvolvimento das culturas. Atualmente vem crescendo a preocupação com a doença conhecida como mofo branco, causada pelo fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, que depreciam a qualidade do produto e diminuem a produção de várias culturas. O conhecimento de métodos de controle do *S. sclerotiorum*, são necessários para que assim possa ser contornado o problema que a doença causa na cultura. Atualmente, visando diminuir a utilização de produtos químicos, vem crescendo pesquisas com óleos essenciais em diversas culturas que demonstram resultado positivo no controle de doenças. Sendo assim, objetivou-se com o presente trabalho apresentar e discutir como a utilização de óleos essenciais podem controlar a *S. sclerotiorum* na agricultura através de uma revisão de literatura. Através desta revisão observa-se um efeito satisfatório no nível de controle de *S. sclerotiorum*, com a utilização de óleos essenciais, sendo necessários mais estudos devido à alta adaptabilidade do fungo aos diferentes ambientes de cultivo.

Palavras-chave: Controle alternativo; doença de solo; doença em plantas; mofo branco

Abstract: Agriculture plays a leading role in Brazilian agribusiness, moving the country's economy. Due to the diversification of climate, vast area intended for planting in different states, thus allowing the cultivation of different crops, such as fruit, vegetables, and large crops, a source of job and income generation for many families, in addition to keeping man in the field. However, there are a number of factors such as climate, water, management, pests and diseases that can affect the non-development of crops. Currently, there is growing concern about the disease known as white mold, caused by the fungus *Sclerotinia sclerotiorum*, which depreciates the quality of the product and reduces the production of several crops. Knowledge of *S. sclerotiorum* control methods is necessary so that the problem that the disease causes in the culture can be circumvented. Currently, in order to reduce the use of chemical products, research with essential oils in several cultures that demonstrate positive results in the control of diseases has been growing. Therefore, the objective of this work was to present and discuss how the use of essential oils can control *S. sclerotiorum* in agriculture through a literature review. Through this review, a satisfactory

effect is observed in the control level of *S. sclerotiorum*, with the use of essential oils, being necessary for more studies due to the high adaptability of the fungus to the different cultivation environments.

Key Word: Alternative control; soil disease; plant disease; white mold

INTRODUÇÃO

Por apresentar uma vasta área territorial, e regiões com diferentes climas, tipos de solo, o Brasil se destaca no agronegócio, sendo ele uma das principais atividades na geração de renda e emprego, podendo produzir frutas, hortaliças e grandes culturas, que serão utilizadas para alimentação, indústrias de cosméticos e medicinais, como também para outros fins, gerando um produto com alto valor agregado que pode propiciar um retorno do capital de investimento. Entretanto, o desenvolvimento e manejo das culturas é um processo complexo, influenciado por fatores, exógenos e endógenos, tratos culturais, infestação de pragas e doenças, afetando assim no desenvolvimento e perda na produtividade.

Dentre dos principais desafios para o desenvolvimento das culturas, está relacionado com problemas fitossanitários de doenças fúngicas, como, por exemplo o fungo *Sclerotinia sclerotiorum* conhecido por causar grandes devastações nas lavouras, depreciar a qualidade do produto e diminuir a produção (1).

O fungo *S. sclerotiorum* pertence ao filo *Ascomycota*, ordem *Helotiales* e família *Sclerotiniaceae*, esse é um que fungo que pode permanecer no solo por períodos prolongados de tempo, podendo esse tempo ser maior que 8 anos, até que ocorra condições favoráveis para a germinação dos escleródios, condições essas que abrangem temperaturas em torno de 10 a 20°C e alta umidade (2). O controle da doença na lavoura é muito difícil, devido ao seu período de permanência no solo, utilizado na maioria das vezes controle culturais, e produtos químicos.

O Brasil lidera o ranking dos países que mais consomem defensivos agrícolas no mundo, a média de consumo anual gira em torno de 2,5 bilhões de dólares, mas, mesmo considerando que a utilização de agroquímicos na agricultura possibilitou o aumento da produção de alimentos nas últimas décadas (3), e que essas substâncias são essenciais para permitir que a agricultura moderna contribua para a sustentação de todas as atividades humanas (4), faz se necessário novos estudos a fim de encontrar alternativas que busquem minimizar os impactos ambientais causados por esses produtos, pois acabam contaminando solos e águas (5).

Visando contornar este fato, atualmente, vem crescendo estudos com substâncias naturais extraídas de plantas conhecidas como óleos essenciais, para tentar prevenir os prejuízos causados por patógenos, pois eles apresentam atividade antifúngica, e essa capacidade vem da habilidade dos óleos de se difundirem através da parede celular e da membrana plasmática dos patógenos (6).

Diversos trabalhos demonstram efetividade de óleos essenciais, como, por exemplo, de melaleuca, própolis, cravo-botão e de alecrim são exemplos de óleos que apresentam atividade antifúngica contra *S. sclerotiorum*, e podem ser uma alternativa interessante na inibição do crescimento do fungo (7).

Diante disso, objetivou-se com o presente trabalho apresentar e discutir como a utilização de óleos essenciais podem controlar a *S. sclerotiorum* na agricultura através de uma revisão de literatura, e verificar quais óleos mostraram resultados promissores.

IMPACTOS DO FUNGO *S. CEPIVORUM* NA AGRICULTURA

Dentre os principais problemas ocasionados pelo *S. cepivorum*, está relacionado ao fato de o fungo possuir grande resistência no campo, pois seus escleródios (estruturas de dormência ou de repouso) podem sobreviver nos solos por muitos anos e em diversas condições climáticas, contribuem para sobrevivência e permanência da doença nas lavouras (8).

O agente etiológico do patógeno é o fungo *S. sclerotiorum* (Lib.) de Bary, a doença acomete mais de 400 espécies de plantas, entre as quais, diversas culturas de interesse econômico, a exemplo da soja, feijão, girassol, cenoura, tomate, batata e diversas plantas daninhas, exceto gramíneas (9,10).

Os sintomas e danos nas principais culturas que o fitopatógeno acomete são, aparecimento de manchas com aspecto de encharcamento, que evoluem para manchas castanhas clara, formando abundante e densa massa miceliogênica branca, que após alguns dias originam os escleródios enegrecidos em plantas hospedeiras (11).

Em outras espécies de plantas, os sintomas podem ser crescimento anormal e a murcha da planta, o amarelecimento e morte das folhas mais velhas e sua senescência, reduzindo a fotossíntese, prejudicando o desenvolvimento dos bulbilhos, e apodrecimento parcial ou total dos bulbos de alho (*Allium sativum*) (12). Os escleródios são densos cheios de hifas de cor escura (Figura 1), sendo a fonte primária de inóculo e podem variar de 2 a 10 mm de diâmetro, alguns autores relatam que escleródios de *S. sclerotiorum* podem permanecer viáveis no solo 8 anos ou mais (13).



Figura 1 – Escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* na cultura da soja.
Fonte: Acervo pessoal dos autores (2022).

No pseudocaule de algumas *Alliaceae*, a cultura fica com aspecto escurecido, que se estende até as raízes, ocasionando podridão, quando se arranca o bulbo do solo, não se tem dificuldade (14), já em epidemias avançadas ocasiona o apodrecimento do bulbo, acarretando perdas severas na produção.

A disseminação desse fungo ocorre pela própria água de irrigação, maquinário, implementos agrícolas, o trânsito de pessoas na lavoura, assim como caixas sujas de plástico usadas com outras hortaliças. O ambiente é um dos fatores mais importantes na regulação de doenças de plantas, pois pode impedir a ocorrência mesmo quando os hospedeiros suscetíveis e patógenos virulentos estão presentes na mesma área (15).

Em condições favoráveis de baixa temperatura e alta umidade e na presença do hospedeiro, o escleródio de *Sclerotinia spp.* germina, podendo infectar as plantas de alho e outros hospedeiros susceptíveis à doença durante todo o seu ciclo, sendo comum observar os sintomas em reboleira do patógeno (16).

MÉTODOS DE CONTROLE PARA MANEJO E PREVENÇÃO DA DOENÇA

Por se tratar de uma doença que causa grande impacto econômico, de difícil erradicar e por apresentar métodos de controle limitados, o primeiro passo é evitar a sua disseminação e entrada do patógeno em áreas que não foi constatada a presença da doença (17), como também se atentar a alguns cuidados presentes na Tabela 1.

Tabela 1 – Métodos de controle empregado para controle *Sclerotinia spp.*

Métodos de Controle	Auto
Utilização de materiais certificados,	(18)
Conhecimento do ciclo da doença, histórico da área, sistema de cultivo e condição	
Rotação de culturas	
Realização de limpeza antes da utilização de implementos agrícolas	(17)
Modificação do ambiente para redução da taxa de progresso da doença,	(19)
Redução da densidade e viabilidade de escleródios presente no solo, com aplicação de	(20)

Atualmente vem crescendo estudos relacionados ao melhoramento genético para cultivares resistentes, mas até o momento, não há cultivares comerciais de hortaliças resistentes ao mofo branco, e possuem poucos fungicidas, produtos químicos registrados no controle *Sclerotinia sclerotiorum* na maioria das hortaliças cultivadas nacionalmente (21). Sendo necessário na maioria das vezes o emprego de controle cultural, químico e biológico para evitar a propagação e infecção de plantas (18,19, 20,22,23,24).

Embora existam produtos biológicos utilizados para controlar o *Sclerotinia sp.* na soja, nenhum produto à base de agente de controle biológico está registrado para hortaliças, sendo assim, o manejo integrado, é tido como boa prática cultural, sendo alguma destas a escolha de campos não infestados para o plantio, rotação de culturas com espécies não hospedeiras, redução populacional do plantio, a descompactação do solo, o gerenciamento adequado da irrigação e a drenagem e nutrição equilibrada das plantas (25).

Com isso, é de suma importância pesquisas que demonstrem alternativas de controle com a utilização de espécies vegetais que demonstram efetividade na ação antifúngica, podendo assim reduzir a aplicação de produtos químicos com efeito tóxico para população humana e no ambiente, quando não aplicados corretamente (7).

DADOS GERAIS DE ESTUDOS RELACIONADOS A UTILIZAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS PARA CONTROLE *S. SCLEROTIORUM*

Os óleos essenciais têm origem no metabolismo secundário das plantas e amplamente utilizados para evitar o desenvolvimento de micro-organismos, pois possuem a capacidade de evitar infecções causadas por doenças (26). São compostos naturais que possuem uma

alta complexidade química, e em sua maioria, são constituídos por monoterpenos, eugenol, carvona, sesquiterpenos, carvacol, linalol, timol, fenilpropanóides e terpineno. (27, 28).

A vantagem de sua utilização para controle de doenças, está relacionada aos óleos apresentarem mecanismos de defesa contra fitopatógenos e uma gama de ações biológicas, tem ação bactericida, antiviral, inseticida e também antifúngica. Estudos recentes vêm apresentando resultados positivos de óleos essenciais no controle de espécies fúngicas em vegetais. (29, 30).

No ranking dos países que mais pesquisam sobre o uso de óleos essenciais com atividade sobre o fungo *S. sclerotiorum* o Brasil ocupa o segundo lugar, como pode-se observar na Figura 2.

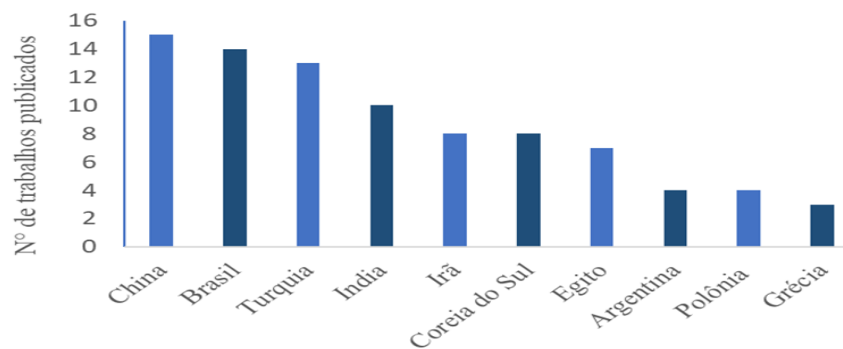


Figura 2 – Países que mais pesquisam sobre o uso de óleos essenciais com atividade sobre o fungo *S. sclerotiorum*, nos últimos 27 anos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022) conforme dados disponibilizados pela base de dados (31).

Esse lugar de destaque se deve a necessidade de se encontrar alternativas mais naturais que substituam os produtos antifúngicos convencionais que existem no mercado. Esse fato também explica o motivo que leva o crescimento dos trabalhos nessa área, conforme dados presentes na Figura 3, mostrando um crescimento significativo nos últimos 5 anos que se mantém em alta até o momento atual.

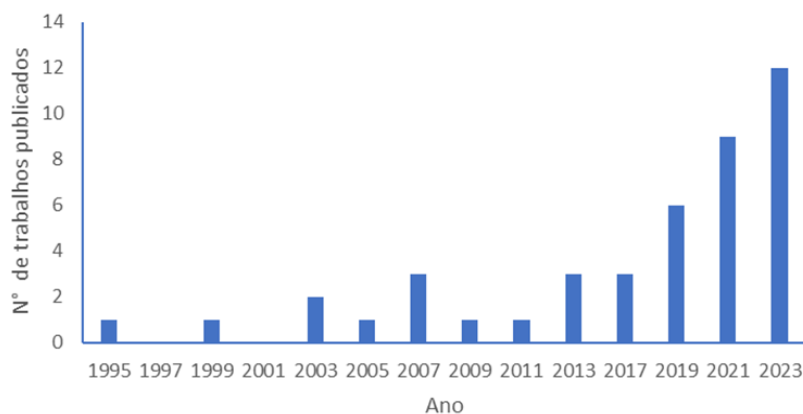


Figura 2 – Número de trabalhos brasileiros publicados ao longo de 28 anos sobre o uso de óleos essenciais com atividade sobre o fungo *S. sclerotiorum*.

Fonte: Elaborado pelos autores (2022) conforme dados disponibilizados pela base de dados (31).

Através da Tabela 2, observa-se que os óleos essenciais mais estudados nos últimos 5 anos e a sua eficiência contra o fungo *S. sclerotiorum*, os estudos mostram em sua maioria uma alta eficiência dos óleos como fungicidas.

Tabela 2 – Trabalhos realizados nos últimos 5 anos sobre a eficiência *in vitro* de óleos essenciais no controle de *S. sclerotiorum*

Óleos essenciais		Eficiência <i>in vitro</i> no controle micelial dos fungos	Dosagem	Autor
Nome Científico	Nome			
<i>Piper</i>	Pimenta-de-	98,7%	50 L	(32)
<i>Origanum</i>	Orégano	100%	0,39	(33)
<i>Psidium</i>	Folhas de	90%	300 µL	(34)
<i>Origanum</i>	Orégano	-	0,75 µL	(35)
<i>Murraya</i>	Dama da	91,2%	300 µL	(36)
<i>Zanthoxylum</i>	Mamica-de-	80%	150 µL/mL	(37)
<i>Citrus</i>	Mexerica	82,9%	300 µL	(38)
<i>Vaccinium</i>	Mirtilo	61,4%	10 µL	(39)
<i>Laurus</i>	Louro	100%	10 µL	(39)
<i>Eucalyptus</i>	Eucalipto de	-	20 µL	(40)
<i>Bauhinia</i>	Pata de	83%	100 µL	(41)
<i>Rosmarinus</i>	Alecrim	100%	0,3 a 0,5%	(42)
<i>Fennel fruits</i>	Funcho	100%	3%	(43)
<i>Apium</i>	Salsão	-	500 µL	(44)
<i>Ocimum sp.</i>	Alfavaca	100%	0,1%	(45)
<i>Aloysia</i>	Erva-santa	100%	0,1%	(45)
<i>Myrciaria</i>	Raçá do mato	95,2%	0,1%	(45)
<i>Coriander</i>	Coentro	89,5%	1µL	(46)
<i>Lavender</i>	Lavanda	92,7%	1µL	(46)
<i>Geranuim</i>	Gerânio	86,4%	1 µL	(46)
<i>Thyme</i>	Tomilho	100%	1 µL	(46)
<i>Savoury</i>	Segurelha	100%	1 µL	(46)
<i>Salvia</i>	Sálvia	100%	0,5 µL	(47)

Os óleos essenciais de folhas de *P. aduncum* (PL-EO) e inflorescências (PI-EO) foram avaliados por Valadares et al. (32) para verificar a atividade antifúngica de *S. sclerotiorum*. A atividade *in vitro* mostrou que a dose de PI-EO acima de 30 µL inibiu o crescimento micelial em 100%, enquanto PL-EO a 50 µL inibiu em 98,7%, os resultados

sugeriram que os óleos essenciais avaliados possuem alto potencial para controlar o fungo fitopatogênico.

A composição e a atividade antifúngica do óleo essencial de *Origanum dubium*, coletados em quatro altitudes diferentes foi verificado por Turkemen et al. (35), os autores verificaram que o rendimento do óleo essencial, o teor de quatro compostos e as atividades antifúngicas contra *Sclerotinia sclerotiorum* variam em relação às diferentes altitudes examinadas. O óleo essencial da planta com o maior teor de carvacrol (85,7%) apresentou a atividade antifúngica mais forte contra o fitopatógeno.

Um estudo conduzido por Dias et al. (38) avaliou a atividade óleo essencial de casca de Citrus, os óleos cítricos inibiram o crescimento de *Sclerotinia sp.* e mostrou-se altamente ativo ao inibir 100% do crescimento do fungo em doses de 200 e 300 μL . Esse foi o primeiro estudo do efeito inibitório in vitro de óleos essenciais de Citrus e seus resultados mostram boas perspectivas de ser utilizado tanto em casa de vegetação como no campo.

O primeiro estudo desenvolvido a partir do óleo essencial das folhas de *Murraya paniculata* foi feito por Silva et al. (36), os autores observaram que a atividade antifúngica do óleo essencial de *Murraya paniculata* contra *S. sclerotiorum* tem bom potencial para controlar esse patógeno. Os resultados do trabalho mostraram que a atividade antifúngica in vitro mostrou que a dose de 300 μL , inibiu aproximadamente 91,2% do crescimento micelial.

Com o objetivo, de avaliar compostos naturais para o manejo de doenças em plantas, De Moraes et al. (49), avaliaram o uso de óleo essencial de canela e citronela para o controle do fungo *Sclerotinia sclerotiorum*, os autores encontraram que a dose de 1,6 mL/L dos óleos resultou na maior inibição do crescimento micelial do fungo, e concluíram que os óleos essenciais de canela e citronela são eficientes para controlar o fungo causador do mofo branco.

O estudo conduzido por Fontana et al. (48) avaliou o efeito fungicida de 4 óleos essenciais: *Aloysia citriodora*, *Cymbopogon winterianus*, *Lippia alba* e *Ocimum americanum* em diferentes concentrações. Os óleos essenciais tiveram capacidade de inibir o crescimento micelial dos fungos e apresentam alto potencial fungicida, em ensaios antifúngicos realizados por Cinabal et al. (33) mostraram que óleo essencial de orégano foi altamente ativos contra *Sclerotinia sclerotiorum*, tanto in vitro como in vivo. O óleo essencial de goiabeira mostrou ser capaz de atingir 90% de inibição do crescimento micelial de *S. sclerotiorum* segundo Silva et al. (34).

O óleo essencial de *Zanthoxylum riedelianum*, tem expressivo potencial antifungico, com as concentrações de 150 μL inibe mais de 80% do crescimento micelial do *S. sclerotiorum*, da mesma forma que Bayar et al. (39) mostraram que os óleos essenciais de *V. myrtillus* e *L. nobilis* têm fortes atividades antifúngicas e inibem o crescimento micelial.

Os resultados da pesquisa desenvolvida por Ustuner et al. (40) sugerem que o óleo essencial de *E. camaldulensis* tem potencial para ser usado como fungicida e inibe o crescimento de *S. sclerotiorum* dentro de 7 dias, enquanto que Menezes Filho et al. (41) encontraram que o óleo de *Bauhinia forficata* inibe o crescimento do fungo em cerca de 83%. Rana et al. (44) encontrou uma inibição significativa do patógeno utilizando óleo essencial de *Apium graveolens*.

Um trabalho realizado por Pansera et al. (45) avaliou a atividade antifúngica de espécies nativas oriundas da região sul do Brasil contra *S. sclerotiorum*, as espécies de *Aloysia lycioides* e *Ocimum sp.* apresentaram inibição do fungo em 100% enquanto a *Myrciaria delicatula* apresentou 95,23% de inibição. De forma parecida Ojaghian et al. (46) avaliou o óleo essencial de diversas espécies, entre elas *Thyme* e *Savourym* apresentaram

100%, *Geranium Lavender Coriander* apresentaram aproximadamente 86, 92 e 89% respectivamente.

Estudos realizados por Hussein et al. (42), Wodnicka et al. (43) e Yilar et al. (47) com óleo de *Rosmarinus officinalis L*, *Fennel fruits* e *Salvia absconditiflora* respectivamente, encontraram 100% de inibição do fungo *S. sclerotiorum*.

O mecanismo de inibição dos fungos através dos óleos essenciais ainda não é bem conhecido, entretanto, com base na literatura consultada, uma das hipóteses, que justifique essa eficiência, pode estar relacionada com as propriedades e substâncias químicas que os óleos essenciais apresentam serem capazes de se difundir através da parede celular e da membrana plasmática do fungo, e afetar a expressão de genes relacionados à parte da membrana e o transporte transmembrana (14)

Na literatura constam diversos princípios ativo, descritos na tabela 3, que são eficazes no controle *in vitro* do fungo *S. sclerotiorum*,

Tabela 3 – Princípio ativo de óleos essenciais que demonstram eficácia no controle *in vitro* *S. sclerotiorum*

Nome Científico	Princípio Ativo	Autor
<i>Piper aduncum</i>	Piperitona, miristicina, terpineol, -cariofileno, -	32
<i>Origanum vulgare</i>	timol, cis- β -terpineol, óxido de cariofileno, p-cimeno,	33
<i>Psidium guajava</i>	trans-cariofileno e α -humuleno	34
<i>Origanum dubium</i>	carvacrol, linalol, p-cimeno e γ -terpineno	35
<i>Murraya paniculata</i>	β -cariofileno, α -zingibereno e β -cubebeno	36
<i>Zanthoxylum riedelianum</i>	E-nerolidol, α -selineno, e β -selineno	37
<i>Citrus deliciosa</i>	Limoneno, α -pineno, sabineno e terpineno	38
<i>Vaccinium myrtillus</i>	1,8-Cineol β -Linalool, α -Pineno e Mirtenol	39
<i>Laurus nobilis</i>	1,8-Cineole, α -Terpinyl acetate, 4-Terpinenol α -	39
<i>Eucalyptus</i>	α -Pineno, p-cimeno, 1,8-Cineol, Cryptone, β -cariofileno	40
<i>Bauhinia forficata</i>	-	41
<i>Rosmarinus officinalis L.</i>	α - Pinene, b- Pinene, Eucalyptol, a-Caryophyllene, D-	42
<i>Fennel fruits</i>	α - Pinene, camphene, sabinense, β -myrcene, α -	43
<i>Apium graveolens</i>	Apiina, manitol, Inositol, 1,2-difenil-1,2-etanodiol, 3-	44
<i>Ocimum sp.</i>	(Z) – B ocimeni, β -element, β -caryophyllene,	45
<i>Aloysia lycioides</i>	α -farnesene, α -copaen-8-ol, spathulenol,	45
<i>Myrciaria delicatula</i>	α -pinene, camphene, α -terpinene, α -campholenal,	45
<i>Coriander</i>	β -1,3-Glucanases, polyphenol oxidase, peroxidases, phe-nylalanine ammonia-lyase	46

<i>Lavender</i>	β -1,3-Glucanases, polyphenol oxidase, peroxidases, phe- nylalanine ammonia-lyase	46
<i>Geranium</i>	β -1,3-Glucanases, polyphenol oxidase, peroxidases, phe- nylalanine ammonia-lyase	46
<i>Thyme</i>	β -1,3-Glucanases, polyphenol oxidase, peroxidases, phe- nylalanine ammonia-lyase	46
<i>Savoury</i>	β -1,3-Glucanases, polyphenol oxidase, peroxidases, phe- nylalanine ammonia-lyase	46
<i>Salvia absconditiflora</i>	β -caryophyllene, valencene, naphthlaene, camphur,	47

Uma outra vantagem da utilização de óleos essenciais além da proteção da planta, está relacionado com sua baixa toxicidade, além de serem substâncias que degradam rapidamente o ambiente e sua obtenção é através de recursos renováveis (50). Mas a composição de teores nos óleos depende do estado nutricional e de desenvolvimento da planta (51).

CONCLUSÕES

Com isso, pode-se verificar que dentre os diversos fatores que afetam a produtividade das culturas, podemos citar doenças fúngicas como *S. sclerotiorum*, os óleos essenciais podem ser fundamentais para uma agricultura mais alternativa, pois podem apresentar efeitos diretos no controle *in vitro* e *in vivo* da doença. Vários óleos essenciais, como Alecrim, Alfavaca, Erva santa, Funcho, Tomilho entre outras apresentaram nível de eficiência de controle da doença, porém este efeito depende da condição de cultivo e da cultura, princípio ativo e concentração.

REFERÊNCIAS

1. Cavalcanti VP, Araújo NAF, Machado NB, Júnior PSPC, Pasqual M, Alves E, Doria J. Yeasts and Bacillus spp. as potential biocontrol agents of Sclerotinia sclerotiorum in garlic. Sci Hortic. 2020; 261:108931.
2. Marafigo DRFD. Extração e uso de óleos essenciais de plantas medicinais na inibição do Sclerotinia sclerotiorum [Trabalho de conclusão de curso graduação]. Curitiba: Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitiba; 2022.
3. Fernandes CLF, Volcão LM, Ramires PF, De Moura RR, Júnior FMRDS. Distribution of pesticides in agricultural and urban soils of Brazil: a critical review. Env Sci: Proc e Imp. 2020; 22:256-270.
4. Sharma R, Kamble SS, Gunasekaran A, Kumar V, Kumar A. A systematic literature review on machine learning applications for sustainable agriculture supply chain performance. Comp e Operat Res. 2020; 119:104926.

5. Zipperer M, Minotto E, Geremias R, Milton Baratto C, Mary Neves J. Isolamento e seleção de fungos de solo de cultivo de Videiras contaminado com Carbamato para biorremediação. Anuár Pes. e ext Unoesc Vid. 2020; 5:26136.
6. Reis JB, de Figueiredo LA, Castorani GM, Veiga SMOM. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. Braz Jour of Healt Rev. 2020; 3:342-363.
7. Portella J, Orlandi RC, Almeida J, Koefender J, Schoffel A, Camera JN. Óleos essenciais no controle in vitro de *Sclerotinia sclerotiorum*. Rev The. 2021; 19: 615-622.
8. Marcuzzo LL, Schmoeller J. Sobrevivência e viabilidade de escleródios de *Sclerotium cepivorum* no solo. Sum Phytopat. 2017; 43: 161-163.
9. Mycobank. International Mycological Association. *Sclerotinia sclerotiorum*[Internet]. 2022. [acesso em 2022 dez 23]. Disponível em: <https://www.mycobank.org/page/Basic%20names%20search>.
10. Jaccoub Filho DE, Henneberg L, Grabicoski EMG. Mofo-branco. Todap. 2017; 23:29-73.
11. Vargas NMD. Potencial de isolados de *Trichoderma* no biocontrole de *Sclerotinia sclerotiorum* [Trabalho de conclusão de curso graduação]. Curitiba: Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitiba; 2022.
12. Mesquita DCM. Compatibilidade micelial de *Sclerotium cepivorum* e reação de genótipos de alho e cebola à podridão branca.[Dissertação mestrado]. Brasília: Universidade de Brasília; 2018.
13. Meyer MC, Mazaro SM, Godoy CV. Controle biológico de mofo-branco na cultura da soja. 1 ed. Londrina: Embrapa soja; 2022.
14. Chen YX, Li W, Zeng H, Zhou G, Cai Q. Transcriptome Analysis Reveals the Mechanism of dill Seed Essential oil Against *Sclerotinia sclerotiorum*. Nat Prod Comm. 2022; 17:1934578-221119910.
15. Pires AF. Influência de fatores abióticos sobre os fungos *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary e *Sclerotium rolfsii* Sacc. [Dissertação mestrado]. Curitiba: Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitiba; 2019.
16. Sousa IM, Nascente AS, Filippi MCC. Bactérias promotoras do crescimento radicular em plântulas de dois cultivares de arroz irrigado por inundação. Colloq Agrar. 2019; 15:140-145.
17. Pereira F, Borges L, Guimarães G, Silva A, Gonçalves R, Carvalho LR, Teixeira I. Estratégias de controle de mofo branco do feijoeiro. Encic Biosf. 2013; 9:1356.

18. Barbosa FR, Gonzaga ACO. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. Santo Antônio de Goiás; 2012.
19. Gorgen CA. Manejo do mofo-branco da soja com palhada de *Brachiaria ruziziensis* e *Trichoderma harzianum* '1306' [Dissertação mestrado]. Jataí: Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí; 2009.
20. Vrisman CM, Hüller GC, Sartori FF, Henneberg L, Wutzki CR, Juliatti FC, Jaccoud Filho DS. Influência de herbicidas e fungicidas na germinação carpogênica de escleródios de *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary. *Biosc Jour*. 2014; 30:477-483.
21. Lopes LHR. Etiologia e prevalência da podridão de saia em alface no Distrito Federal. [Tese Doutorado]. Brasília - Universidade de Brasília; 2020.
22. Neto AJA, Alves ÁG, Stangarlin JR, Coppo JC, Rampim L, Rissato BB, et al., Efficiency of commercial products for the control of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary in soybean cultivar NS 5909 RG. *Afr Jour of Agr Res, Publi onli*. 2016; 11:2833-2840.
23. Meyer MC, Campos HD, Godoy CV, Ultimada CM, Dias AC, Jaccoud Filho DS, et al. Eficiência de fungicidas para controle de mofo-branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em soja, na safra 2018/2019: resultados sumarizados dos ensaios cooperativos. *Circ Téc Embrapa Soja*. Londrina; 2019.
24. Seixas CDS, Neumaier N, Balbinot Junior AA, Krzyzanowski FC, Leite RMVB. Manejo de doenças. Embrapa Soja. Londrina; 2020.
25. Zambolim L, Lopes C, Do Vale FXR, Costa H. Doenças de hortaliças em cultivo protegido. *Informe Agropecuário*. Belo Horizonte; 2018.
26. Cutrim ESM, Teles AM, Mouchrek AN, Mouchrek Filho VE, Everton GO. Avaliação da atividade antimicrobiana e antioxidante dos óleos essenciais e extratos hidroalcoólicos de *Zingiber officinale* (Gengibre) e *Rosmarinus officinalis* (Alecrim). *Rev Virt de Quím*. 2019; 11:60-81.
27. Pombo JCP, Ribeiro ER, Pinto RDL, Silva BD. Efeito antimicrobiano e sinérgico de óleos essenciais sobre bactérias contaminantes de alimentos. *Seg Alim e Nutric*. 2018; 25: 108-117.
28. Santos CHS, Piccoli RH, Tebaldi VMR. Atividade antimicrobiana de óleos essenciais e compostos isolados frente aos agentes patogênicos de origem clínica e alimentar. *Revi do Inst Adolfo Lutz*. 2017; 76:1-8.
29. De Menezes Filho ACP, De Sousa WC. Composição química dos óleos essenciais de *Schinus molle* e atividade antifúngica frente à *Sclerotinia sclerotiorum*. *Colloq Agrar*. 2020; 16:115-123.
30. Schwengber RP, Bordin JC, Bortolucci WC, Carpi MCG, André VCS, Paccolameirelles LD, Gomes SMS. Óleo essencial das folhas e frutos de *Schinus*

- terebinthifolius Raddi no controle de *Pratylenchus zeae*. Arq Ciên Vet Zoo UNIPAR. 2017; 20:153-159.
31. Ballew BS. Banco de dados scopus® de Elsevier [Internet]. 2009 [acesso em 2022 dez 19]. Jour of electr Res in Med Lib.6:245-252. Disponível em: <https://www.elsevier.com/pt-br/solutions/scopus>.
 32. Valadares ACF, Alves CCF, Alves JM, De Deus IP, De Oliveira Filho JG, Dos Santos TCL, Miranda ML. Essential oils from *Piper aduncum* inflorescences and leaves: chemical composition and antifungal activity against *Sclerotinia sclerotiorum*. An Acad Bras de Ciênc. 2018; 90:2691-2699.
 33. Cibanal IL, Fernandez LA, Rodriguez SA, Pellegrini CN, Gallez LM. Propolis extract combined with oregano essential oil applied to lima bean seeds against *Sclerotinia sclerotiorum*. Eur Jour Pla Path. 2022; 164:33-43.
 34. Silva EAJ, da Silva VP, Alves CCF, Alves JM, Souchie EL, Barbosa LCA. Chemical composition of the essential oil of *Psidium guajava* leaves and its toxicity against *Sclerotinia sclerotiorum*. Sem Cie Agra. 2018; 39:865-874.
 35. Türkmen M, Kara M, Maral H, Soylu S. Determination of chemical component of essential oil of *Origanum dubium* plants grown at different altitudes and antifungal activity against *Sclerotinia sclerotiorum*. Jour Foo Proc Pres. 2022; 46:15787.
 36. Silva FFAD, Alves CCF, Oliveira JGD, Vieira TM, Crotti AEM, Miranda MLD. Chemical constituents of essential oil from *Murraya paniculata* leaves and its application to in vitro biological control of the fungus *Sclerotinia sclerotiorum*. Foo Sci and Tech. 2019; 39:413-417.
 37. Lara LL, Nascimento VA, Fernandes CC, Forim MR, Casal CM. Chemical composition and antifungal activity of *Zanthoxylum riedelianum* stem bark essential oil. Nat Prod Res. 2022; 36:1653-1658.
 38. Dias ALB, Sousa WC, Batista HRF, Alves CCF, Souchie EL, Silva FG, Miranda MLD. Chemical composition and in vitro inhibitory effects of essential oils from fruit peel of three Citrus species and limonene on mycelial growth of *Sclerotinia sclerotiorum*. Bra Jour of Bio. 2019; 80:460-464.
 39. Bayar Y, Onaran A, Yilar M, Gul F. Determination of the essential oil composition and the antifungal activities of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) and bay laurel (*Laurus nobilis* L.). Jour of Ess Oil Ber Plt. 2018; 21:548-555.
 40. Üstüner T, Kordali Ş, Bozhüyük AU, Kesdek M. Investigation of pesticidal activities of essential oil of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Rec. Nat. Prod. 2018; 12:557-568.

41. Menezes Filho ACP, Santos DB, Nascimento RC, Oliveira MS, Castro CF. S. Physicochemical evaluation and antifungal activity of essential oil from *Bauhinia forficata* flower Link (Fabaceae). *Rev de Agric Neot.* 2020; 7:57-61.
42. Hussein KA, Lee YD, Joo JH. Effect of rosemary essential oil and *Trichoderma koningiopsis* VOCs on pathogenic fungi responsible for ginseng root-rot disease. *Jour. Micr. Biotec.* 2020; 30:1018-1026.
43. Wodnicka A, Huzar E, Dzięcioł M, Krawczyk M. Comparison of the composition and fungicidal activity of essential oils from fennel fruits cultivated in Poland and Egypt. *Pol Jour of Chem Tech.* 2019; 21:38-42.
44. Rana A, Negi PB, Tripathi AH, Pal M, Sahoo NG. Composição química, potencial antifúngico, antioxidante e citotóxico do óleo essencial de folhas de *Apium graveolens* L. (aipó) coletado de Nainital, Uttarakhand. *Jour of Ess Oil Bear Plt.* 2022; 25: 844-858.
45. Pansera MR, Silvestre WP, Gonzatti F, Pauletti GF, Sartori VC. Chemical composition and antifungal activity of the essential oils from native species of the 'Campos de Cima da Serra' region, South Brazil. *Jour of Ess Oil Res.* 2021; 33:488-501.
46. Ojaghian S, Wang L, Xie GL, Zhang JZ. "Inhibitory efficacy of different essential oils against storage carrot rot with antifungal and resistance-inducing potential." *Jour of Phytop.* 2019;167:490-500.
47. Yilar M, Bayar Y, Bayar A A. Allelopathic and Antifungal potentials of endemic *Salvia absconditiflora* Greuter & Burdet collected from different locations in Turkey. *Allel Jour.* 2020;49:243-256.
48. Fontana DC, Caron BO, Dourado Neto D. Nanoformulação de fungicidas a partir de óleos essenciais [Tese de Doutorado]. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; 2021.
49. De Moraes TV, Ferreira JPG, Moreira RFA. Óleos essenciais do gênero *Pereskia*: uma revisão da literatura. *Res Soc and Dev.* 2020; 9:49953357-49953357.
50. Kobayashi BF, Amaral DR. Efeito de extratos vegetais de plantas do Cerrado para controle de pinta-preta em tomateiro. *Sum Phytop.* 2018;44:189-192.
51. Bonna TDMM. Óleo essencial de orégano, alecrim, canela e extrato de pimenta no controle de *Salmonella*, *Eimeria* e *Clostridium* em frangos de corte. *Pesq. Vet Bras.* 2012; 32:411-418.

Capítulo 03

Doi.org/10.53934/9786599965814-03

EFEITO *IN VITRO* DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS EMITIDOS POR ÓLEO ESSENCIAL DE EUCALIPTO SOBRE *MELOIDOGYNE* SPP

Pedro Henrique Ferreira Costa ; Carlos Henrique Milagres Ribeiro *; Roni Peterson Carlos ; Thatyelle Cristina Bonifácio ; Alex Oliveira Botelho 

*Autor correspondente – Email: caarlos_henriquee_8@hotmail.com

Resumo: Um dos principais obstáculos da agricultura sustentável é o controle de doenças em plantas, como, por exemplo, de patógenos do gênero *Meloidogyne* spp. Atualmente, vem crescendo trabalhos que comprovam efeitos benéficos de óleos essenciais no controle de fitopatógenos, mas pouco se sabe sobre os compostos orgânicos voláteis (COV's), sendo necessários estudos. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar se os COV's emitidos pelo óleo essencial de eucalipto possuem ação deletéria *in vitro* contra *Meloidogyne* spp. Os ovos de *Meloidogyne* spp., foram obtidos de plantas de alface infectadas e, após a eclosão, os juvenis de segundo estágio (J2) foram depositados em pequenos recipientes de plástico colocados nas placas de petri, enquanto no outro lado da placa, foi acondicionado o óleo essencial em um pedaço de algodão com diferentes concentrações (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0%) de óleo essencial de eucalipto. Após este procedimento, as placas foram fechadas e vedadas, formando, câmaras, a partir das quais, avaliou-se a mortalidade e imobilidade dos J2 após 24 horas de exposição aos COV's. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso (DIC), com 5 tratamentos e 4 repetições, utilizando o sistema de duplicata. Ao final do experimento foi possível observar que os COV's emitidos pelo óleo essencial de eucalipto, na concentração de 2,0%, resultou em 48,9% de imobilidade e 44% de mortalidade de J2, se mostrando eficiente no controle desse fitopatógeno, auxiliando na redução da população da praga e podendo colaborar para a redução das taxas de aplicação de defensivos agrícolas.

Palavras-chave: COV's, fitonematoides, controle alternativo

Abstract: One of the main obstacles to sustainable agriculture is the control of plant diseases, such as pathogens of the genus *Meloidogyne* spp. Currently, works are growing that prove the beneficial effects of essential oils in the control of phytopathogens, but little is known about volatile organic compounds (VOC's), being necessary studies. In view of the above, this study aimed to evaluate whether VOCs emitted by eucalyptus essential oil have a deleterious *in vitro* action against *Meloidogyne* spp. The eggs of *Meloidogyne* spp., were obtained from infected lettuce plants and, after hatching, the second stage juveniles (J2) were deposited in small plastic containers placed in the petri dishes, while on the other side of the plate, was placed essential oil on a piece of cotton with different concentrations (0; 0.5; 1.0; 1.5 and 2.0%) of eucalyptus essential oil. After this procedure, the plates were closed and sealed, forming chambers, from which J2 mortality and immobility were evaluated after 24 hours of exposure to VOCs. The

experimental design used was completely randomized (DIC), with 5 treatments and 4 replications, using the duplicate system. At the end of the experiment, it was possible to observe that the VOCs emitted by the eucalyptus essential oil, at the highest concentration tested, resulted in 48.9% immobility and 44% mortality of J2. Proving to be efficient in the control of this phytopathogen, helping to reduce the pest population and being able to collaborate to reduce the application rates of agricultural defensives.

Key Word: Volatile compounds, phytonematoids, alternative control

INTRODUÇÃO

Sabe-se que os nematoides do gênero *Meloidogyne* spp. conseguem causar doenças em diferentes culturas como, soja, cenoura, algodão, café, hortaliças como alface, tomate, etc (1). Plantas infectadas apresentam distribuídas em reboleiras, folhas amareladas, redução no desenvolvimento, podendo chegar até em morte da planta, pois por se tratar de um endoparasita sedentário afetará a produtividade da cultura (2, 3).

Dentre os problemas causados pelo *Meloidogyne* está relacionado a sua rápida reprodução, realizando-se a postura de 400 a 600 ovos, onde apresentam 4 estádio (J1, J2, J3 e J4), necessário maior atenção no estádio J2 (juvenil de segundo estádio), pois ele atrapalha no desenvolvimento da planta, causando danos mecânicos nas raízes, devido modificações fisiológicas, que acarretará formação de galhas nas raízes das plantas (4).

Atualmente vem crescendo o interesse da população em formas de controle de doenças de plantas que visem uma agricultura sustentável, pois a utilização de produtos químicos pode ocasionar problemas ambientais e de contaminação de alimentos (5).

Assim, como alternativa ao uso de agroquímicos, estudos demonstram a possibilidade da utilização de óleos essenciais (6), sendo que existem trabalhos que comprovam os efeitos benéficos desses óleos no controle de fitopatógenos, mas pouco se sabe sobre os compostos orgânicos voláteis (COV's) que eles emitem.

Existem estudos que comprovam que óleos essenciais possuem ação contra bactérias, fungos, além de serem repelentes de insetos, sedativos, podem influenciar em um melhor desenvolvimento vegetal e controle de patógenos que causam problemas fisiológicos na planta (7, 8).

O óleo essencial de eucalipto vem sendo testado e apresentando vantagem no manejo alternativo de insetos e doenças, como no experimento de feijoeiro que se avaliou o seu potencial inseticida em espécies do gênero *Eucalyptus* no controle de *Acanthoscelides obtectus* em armazenamento dos grãos, e obteve resultado satisfatório com a espécie *E. globulus* (9). Uma das justificativas para este controle pode estar relacionada aos compostos orgânicos voláteis emitidos (COV's), entretanto estudos precisam ser realizados em ambientes fechados para analisar seus efeitos no patógeno (10).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito *in vitro* dos compostos orgânicos voláteis (COV's), de diferentes concentrações do óleo essencial de eucalipto na imobilidade e mortalidade de *Meloidogyne* spp.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Química situado no núcleo de Química, do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais – *Campus Barbacena*

Para a obtenção dos nematoides utilizou-se raízes de plantas de alface coletadas em campo de produção naturalmente infestado por nematoide das galhas (*Meloidogyne* sp.), (Figura 1. A) de produtores rurais da comunidade de Torres de São Sebastião, zona rural de Barbacena.

Os ovos foram extraídos das galhas segundo a metodologia descrita pela comparação de métodos de coleta de inóculos de *Meloidogyne* spp (11), onde o sistema radicular foi retirado do solo e lavado suavemente para retirada do excesso de substrato aderido, posteriormente as raízes foram fragmentadas e agitadas vigorosamente por 2 minutos, em um recipiente contendo 200 ml de hipoclorito de sódio (NaClO), na concentração de 0,5%.

A suspensão foi então vertida em peneira de 200 meshes (0,074 mm de abertura da malha) acoplada sobre outra peneira de 500 meshes (0,0254 mm). Posteriormente, as raízes contidas na peneira de 200 meshes foram enxaguadas três vezes para garantir a retirada dos ovos. Os ovos retidos na peneira de 500 meshes foram recolhidos em um béquer com auxílio do jato d'água de pisseta.

Para obtenção dos J2, os ovos foram transferidos para funis de Baermann e mantidos em estufa tipo BOD em temperatura de $28^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Os J2 eclodidos após 24 horas foram descartados, considerados úteis os nematoides eclodidos após 48 horas no funil. Os juvenis foram recolhidos e a suspensão calibrada para 50 J2 por placa de Petri.

O óleo essencial utilizado foi de eucalipto, adquirido em comércio local. Para a montagem das câmaras de COV's e do bioensaio, semelhantes às feitas com placas de petri bipartidas, foram utilizadas placas pequenas (5 cm de diâmetro), de plástico, para deposição da solução com os nematoides, numa concentração afim de obter 50 J2 por placa. Esses recipientes foram depositados em placas de Petri, onde do outro lado da placa foi adicionado um pedaço de algodão (Figura 1. B) que recebeu 5 mL da solução com óleo essencial diluído em água destilada, de acordo com os tratamentos conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Descrição dos tratamentos testados *in vitro*, dos compostos orgânicos voláteis emitidos por óleo essencial de eucalipto sobre *Meloidogyne* spp

Tratamentos
T1 - água destilada - testemunha
T2 - solução com 0,5% de óleo essencial de eucalipto
T3 - solução com 1% de óleo essencial de eucalipto
T4 - solução com 1,5% de óleo essencial de eucalipto
T5 - solução com 2% de óleo essencial de eucalipto

Fonte: Elaborado pelos autores.

As câmaras foram fechadas e vedadas com plástico filme de PVC e acondicionadas em estufa de incubação a 28°C (Figura 1. C), distribuídas de acordo com o delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com quatro repetições e utilizando o sistema de duplicata. Constituindo 20 parcelas experimentais.

Ao final do tempo de exposição (24 horas), as placas foram abertas e as plaquinhas com a suspensão de J2 levadas ao microscópio de lente invertida (Figura 1. D) para contagem de juvenis imóveis e, após a aplicação de 1 mL de hidróxido de sódio 0,1 N (normal) que causa movimentos nos nematoides, a contagem de juvenis mortos (Figura 1. E).

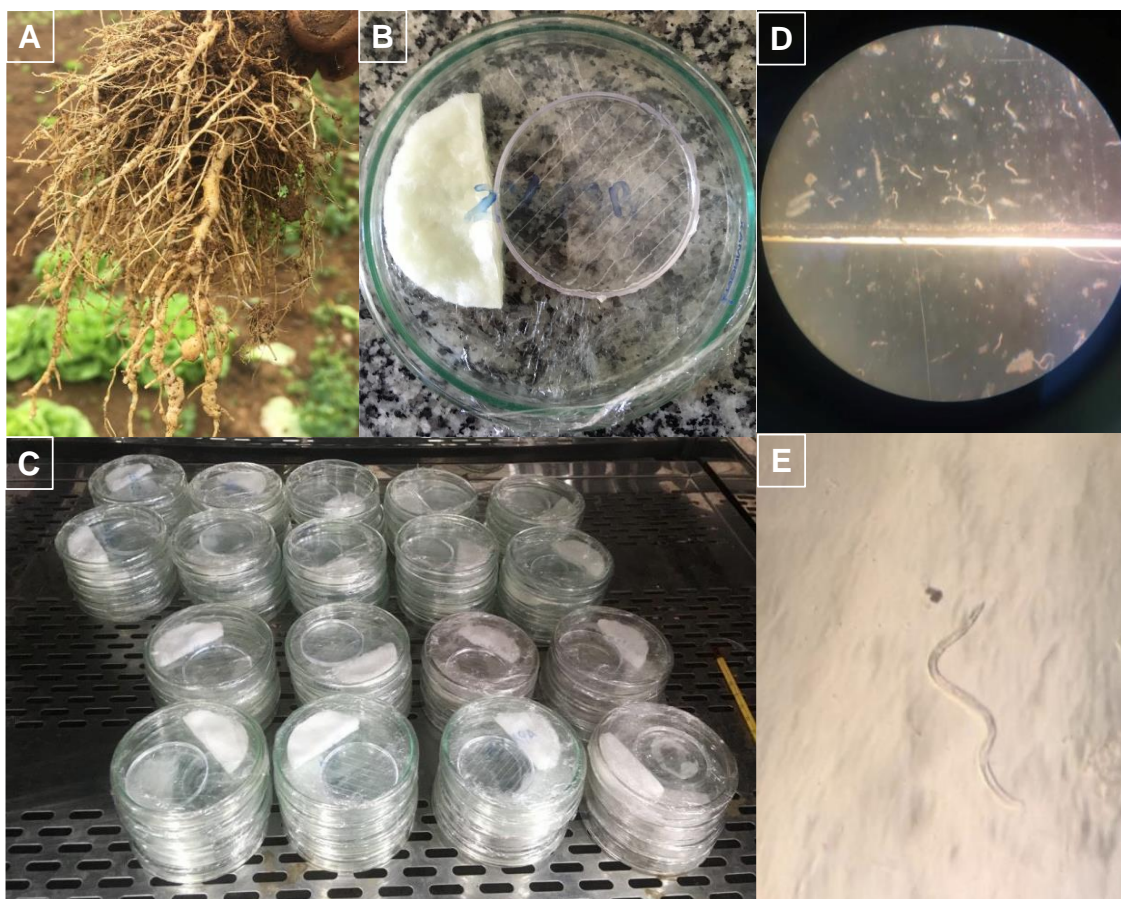


Figura 1 – Montagem do experimento. Legenda: A: raízes de alfaca com presença de galhas. B: Câmaras de COV's montadas. C: Câmaras de COV's fechadas e vedadas acondicionadas em estufa de incubação. D: abertura das placas. E: Contagem dos juvenis mortos.
Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores obtidos para a imobilidade e mortalidade dos J2 foram submetidos à análise de variância da regressão (ANOVA) ao nível de 5% de probabilidade, com o auxílio do software SISVAR[®] 5.6, (12).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise de variância, houve diferença significativa entre as concentrações do óleo essencial de eucalipto nos parâmetros de imobilidade e mortalidade (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores referente à análise de variância (teste de regressão) a 5% de probabilidade dos parâmetros avaliados imobilidade e mortalidade.

ANAVA - IMOBILIDADE				
FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	503,837500	49,561	0,0000
Repetição	7	17,585714	1,730	0,1425
Erro	28	10,166071		
Total corrigido	39			
CV (%) =	23,36%			

ANAVA - MORTALIDADE				
FV	GL	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamento	4	408,787500	57,446	0,0000
Repetição	7	9,928571	1,395	0,2463
Erro	28	7,116071		
Total corrigido	39			
CV (%) =	22,32%			

Legenda: Valores de Pr > Fc maiores que 0,05 indicam que não houve diferença significativa entre os tratamentos. GL-graus de liberdade QM- quadrado médio Fc- Valor de F calculado.

A imobilidade de J2 observada variou entre 7,5% e 48,9%, e a mortalidade entre 6,8% e 44%. Nota-se que as diferentes concentrações tiveram efeito sobre a imobilidade e mortalidade dos juvenis quando comparadas com a testemunha (0%), conforme pode ser observado no Figura 1, a imobilidade e mortalidade aumenta à medida que se aumenta a concentração do produto.

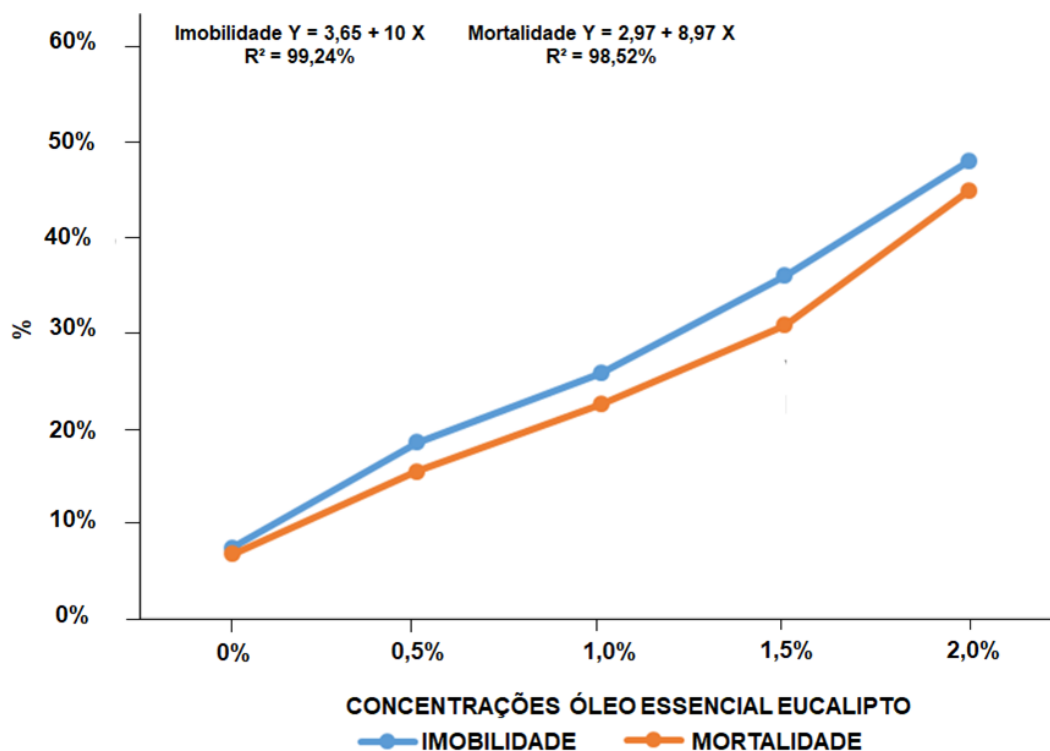


Figura 2 – Imobilidade e mortalidade de J2 (%) em função da exposição (24 horas) nas diferentes concentrações do óleo essencial de eucalipto.

Resultados semelhantes encontrados no presente estudo, no trabalho avaliando o efeito nematicida do óleo essencial de eucalipto em diferentes (0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2%) concentrações, adicionadas em suspensão aquosa, sendo observado a eficácia da maior concentração resultando na morte de 90% dos nematoides (13).

Já no experimento realizado com óleos essenciais de eucalipto e funcho para o controle da *Phytophthora infestans* e *Meloidogyne javanica*, na cultura da batata, foi observado um efeito positivo no controle na eclosão dos ovos de J2 em uma dose de 1.500 ppm (14).

Em trabalhos com semente de milho, utilizando óleo essencial de eucalipto para o controle dos patógenos de *Alternaria* sp. e *Cladosporium* sp (15), os autores observaram um controle efetivo para o tratamento de sementes devido à diminuição dos fungos nas sementes, levando como hipótese um efeito tóxico do óleo aos microrganismos (16).

Dentre as justificativas para ocorrência da mortalidade e imobilidade, pode estar relacionada ao efeito que o óleo essencial de eucalipto exerce no estágio J2, pois ele afeta a reprodução do nematoide, devido eles possuírem princípio ativos que ocasionam toxicidade (17), visto que em sua composição do óleo apresentar polifenóis, flavonoides, terpenos como o citronelal, g-terpineol, e um alto teor de eucaliptol (18), ocasionando assim uma atividade de pesticida (19).

Na utilização de óleo essencial de pimenta-do-reino em diferentes concentrações (1, 2, 3, 4 e 5%) para o controle do besouro castanho do trigo (*Tribolium castaneum*). (20), os autores observaram que mesmo em concentrações baixas, os COV's emitidos tinham efeitos tóxicos e repeliam a praga, resultado oposto encontrado no presente estudo, onde a maior concentração do óleo apresentou melhor resultado nos parâmetros analisados.

Em pesquisas *in vitro* com a utilização dos COV's por macerados de nim e mostarda, objetivando o controle de juvenis de *Meloidogyne incógnita* (21), os autores obtiveram resultados satisfatórios, onde a mortalidade observada no tempo de exposição de 24 horas diferenciou bastante da testemunha e obteve taxas entre 91 a 100% para o macerado de mostarda, já em relação à imobilidade, os COV's emitidos pelo macerado de mostarda proporcionaram imobilidade de J2 considerável depois de 6 horas de exposição. Já os compostos emanados pelo macerado de nim promoveram a imobilidade dos juvenis em todos os tempos de exposição testados.

Pode-se concluir que a utilização dos COV's é uma alternativa viável para o controle do desenvolvimento de fungos e bactérias causadores de doenças, pois os Compostos orgânicos voláteis como os aldeídos (acetaldeído, benzaldeído e cinamaldeído) obtidos de diferentes espécies vegetais se mostraram tóxicos (22).

CONCLUSÕES

A utilização de compostos orgânicos voláteis (COV's) emitidos pelo óleo essencial de eucalipto apresenta ação fungicida no controle *in vitro* de *Meloidogyne* spp, a concentração de 2% foi eficiente na imobilidade e mortalidade dos juvenis de J2.

Sendo assim, para que o óleo essencial de eucalipto possa ser utilizado no manejo integrado desse fitopatógeno, reduzir a população como forma de controle alternativo é necessários estudos no controle *in vivo*.

REFERÊNCIAS

1. Lima FSO, Mattos vs, Silva ES, Carvalho MAS, Teixeira RA, Silva JC, Correa VR. Nematodes affecting potato and sustainable practices for their management. 1. ed Potato – From Incas to All Over the World, 2018
2. Mantelin S, Bellafiore S, Kyndt T. Meloidogyne graminicola: a major threat to rice agriculture. Molecular plant pathology, 2017,18: 3-15
3. Brida ALD, Gabia AA, Pezzoni FJC, Moraes DADC, Wilcken SRS. Variabilidade espacial de *Meloidogyne javanica* em soja. Summa Phytopathologica, 2016, 42:175-179
4. De Santana-Santos IV, Chaves-Silva NE, Da Silva Amâncio LH, Dos Santos WB, Viégas PRP, Marino RH. Fungos comestíveis e microbiota nativa no controle do nematoide formador de galhas. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, 2022,15:1-16
5. Franca, D. As técnicas de controle biológico projetam um futuro promissor e lucrativo para a agricultura: As técnicas inovadoras do conceito de Controle Biológico têm se revelado cada vez mais promissoras. Inovação & Desenvolvimento: A Revista da FACEPE, 2020; 1: 11-13
6. Oliveira JSB, Schwan-Estrada KRF, Bonato CM, Gomes SMDTP. Homeopatas de óleos essenciais sobre a germinação de esporos e indução de fitoalexinas. Revista Ciência Agronômica, 2020, 48:208-215.
7. Mafia RG, Alfenas AC, Ferreira EM, Teixeira DA, Zauza EAV. Indução do enraizamento e crescimento do eucalipto por rizobactérias: efeito da adição de fonte alimentar e da composição do substrato de enraizamento. Revista Árvore, 2017, 31:589-597
8. Chapola RG, Ogasawara GA, Jans B, Junior NSM. Controle da podridão abacaxi da cana-de-açúcar por meio da pulverização de fungicidas em rebolos no sulco de plantio. Ciência Rural, 2014, 44:197-202
9. Tonin RJ. Controle de *Acanthoscelides obtectus* com óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. em grãos de feijão [dissertação]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2015
10. Campos VP, Pinho RSC, Freire ES. Volatiles produced by interacting microorganisms potentially useful for the control of plant pathogens. Ciência e Agrotecnologia, 2010, 34: 525-535
11. Hussey RS, Barker KR. A comparison of methods for collecting inocula of *Meloidogyne* spp. including a new technique. Plant Dis. Rep, 1973, 57:1025-1028

12. FERREIRA DF. Sisvar: sistema computacional de análise estatística. *Ciência e Agrotecnologia*, 2011, 35:1039-1042
13. Gonçalves AO, Da Silva Moreira PE, Camara GR, Alves FR, Moraes WB. Efeito nematocida de óleo essencial de eucalipto sobre nematoide das galhas. SEAGRO: Anais da semana acadêmica do curso de agronomia do CCAE/UFES, 2017
14. Bosenbecker VK, Gomes CB, Gomes JC. Efeitos de óleos essenciais de plantas medicinais no controle de *Phytophthora infestans* e *Meloidogyne javanica* em batata. *Ver. Brasileira de Agroecologia*, 2006,1:55-65
15. Baseggio ER, Reik GG, Piovesan B, Milanesi PM. Atividade antifúngica de extratos vegetais no controle de patógenos e tratamento de sementes de trigo. *Revista Científica Rural*, 2019, 21:16-26
16. Brito DR, Ootani MA, Ramos ACC, Sertão WC, Aguiar WS. Efeito dos óleos de citronela, eucalipto e composto citronelal sobre microflora e desenvolvimento de plantas de milho. *Journal of Biotechnonology and Biodiversity*, 2012, 3:184-192
17. Moreira FJC, Santos CDG, Innecco R, Silva GS. Controle alternativo de nematoide das galhas (*Meloidogyne incognita*) raça 2, com óleos essenciais em solo. *Summa Phytopathologica*, 2015, 41:207-213
18. Mekonnen A, Yitayew B, Tesema A, Taddese S. In vitro antimicrobial activity of essential oil of *Thymus schimperi*, *Matricaria chamomilla*, *Eucalyptus globulus*, and *Rosmarinus officinalis*. *International journal of microbiology*, 2016, 2016:1-8
19. Puig CG, Revilla P, Barreal ME, Reigosa MJ, Pedro N. On the suitability of *Eucalyptus globulus* green manure for field weed control. *Crop Protection*, 2019, 121:57-65
20. Upadhyay RK, Jaiswal G. Evaluation of biological activities of *Piper nigrum* oil against *Tribolium castaneum*. *Bulletin of Insectology*, 2007, 60: 57-61
21. Barros AF, Campos VP, Da Silva JCP, Lopez LE, Da Silva AP, Pozza EA, Pedrosa LA. Tempo de exposição de juvenis de segundo estágio a voláteis emitidos por macerados de nim e de mostarda e biofumigação contra *Meloidogyne incognita*. *Nematropica*, 2014, 44:190-1999
22. Utama IMS, Wills RB, Bem-Yehosua S, Kuek C. In vitro efficacy of plant volatiles for inhibiting the growth of fruit and vegetable decay microorganisms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, 50:6371-6377

ENCAPSULAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS: REVISÃO DE LITERATURA

Karolline Krambeck ^{1,2*}

1. UCIBIO— Applied Molecular Biosciences Unit, MedTech— Laboratory of Pharmaceutical Technology, Department of Drug Sciences, Faculty of Pharmacy, University of Porto, Porto, Portugal

2. Associate Laboratory i4HB— Institute for Health and Bioeconomy, Faculty of Pharmacy, University of Porto, Porto, Portugal

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: karollka@gmail.com

Resumo: Unos últimos tempos houve um incremento na utilização de produtos naturais e dentre eles, os óleos essenciais. Os óleos essenciais são oriundos do metabolismo secundário das plantas e possuem diversas funções como polinizadores, inseticidas e combatem os patógenos das plantas. Estes óleos possuem um forte aroma, são altamente voláteis, e devido a sua volatilidade acabam degradando. Para colmatar este fato, surgem propostas para prevenir esta degradação, sendo a encapsulação dos óleos essenciais uma alternativa. O objetivo deste trabalho foi fazer uma revisão sobre a encapsulação dos óleos essenciais, o método utilizado e quais as suas vantagens. Com o encapsulamento, notou-se que há um aumento da estabilidade, melhora na liberação do óleo essencial, aumento da validade do produto, prolongamento do aroma, bem como foi demonstrado em alguns estudos o aumento na atividade antimicrobiana. Foi observado que existem diversas técnicas de encapsulamento dos óleos, como a encapsulação por nanopartículas lipídicas, nanopartículas poliméricas, lipossomas, tendo um maior destaque para as ciclodextrinas. Devido as várias vantagens das ciclodextrinas, este método poderia ser mais utilizado, sendo que é barato, simples e possui muitas vantagens.

Palavras-chave: antimicrobiano; antioxidante; encapsulação; óleo essencial

Abstract: In recent times, there has been an increase in the use of natural products and among them, essential oils. Essential oils come from the plants secondary metabolism and have various functions such as pollinators, insecticides and combat plant pathogens. These oils have a strong aroma, are highly volatile and due to their volatility end up degrading. In order to overcome this fact, there are proposals to prevent this degradation, being the encapsulation of essential oils an alternative. The objective of this work was to prepare a review on the encapsulation of essential oils, the method used and its advantages. With the encapsulation, it was noticed that there is an increase of the stability, improvement in the liberation of the essential oil, increase of the validity of the product, extension of the aroma, as well as it was demonstrated in some studies the increase of the antimicrobial activity. It was observed that there are several techniques for encapsulation of oils, such as encapsulation by lipidic nanoparticles, polymeric nanoparticles, liposomes, with a greater emphasis on cyclodextrins. Due to the various advantages of cyclodextrins, this method could be more widely used, as it is cheap, simple and has many advantages.

Key Word: antimicrobial; antioxidant; encapsulation; essential oil

INTRODUÇÃO

Os óleos essenciais são moléculas aromáticas com baixo peso molecular, resultado do metabolismo secundários das plantas que possuem grande importância terapêutica e econômica. Nas plantas, possuem funções como auxiliar no combate dos patógenos, atração de insetos polinizadores, inseticida e sobrevivência da planta. Os óleos essenciais diferenciam-se dos óleos graxos devido a sua alta volatilidade (1–3).

A composição dos óleos aromáticos podem variar muito, desde poucos terpenos a moléculas muito complexas com mais de 100 compostos, cetonas, ésteres, aldeídos, cumarinas, e apresentam diversas atividades biológicas como antimicrobiano, antioxidante, antiviral, antifúngico, cicatrizante, vermífugo e inseticida (4–7). Estes óleos são produtos obtidos através de destilação por arraste de vapor d'água, hidrodestilação, extração com solventes orgânicos, microondas, extração com fluido supercrítico, enfloração e prensagem a frio (3,8).

As plantas podem acumular estes compostos voláteis e com alta pressão de vapor em partes específicas, isso depende de planta para planta. Por exemplo nas folhas, resina, flores, fruto e sementes. Geralmente os óleos essenciais são líquidos, somente em raros casos são sólidos a temperatura ambiente, como a cânfora. Os principais usos dos óleos essenciais estão na indústria farmacêutica, cosmética, alimentar, química e também na medicina alternativa, como é o caso da Aromaterapia (8,9).

Entretanto os óleos essenciais são altamente sensíveis e vulneráveis na presença de ar, umidade, altas temperaturas e luz. Nessa perspectiva, estratégias têm sido aplicadas para reduzir a evaporação de componentes voláteis e protegê-los da degradação, sendo que a encapsulação dos óleos essenciais tem sido muito abordada atualmente. O objetivo desta revisão de literatura é analisar os métodos de encapsulamento dos óleos essenciais mais utilizados atualmente, vantagens de sua encapsulação, bem como fazer um levantamento das plantas que contenham óleos essenciais mais utilizadas.

APLICAÇÕES DOS ÓLEOS ESSENCIAIS

Os principais óleos essenciais existente no mercado mundial são: mentol, eugenol, laranja, eucalipto, limão, citronelal (2). O mentol é um dos componentes principais do óleo essencial retirado das folhas de *Mentha piperita L*, e um dos mais utilizados para fins cosméticos e medicinais. É conhecido seu odor, aroma e sensação refrescante que fazem parte de diversos produtos (10). O mentol apresenta atividade inseticida, antioxidante, antimicrobiana e também uma alternativa aos pesticidas (11–13)

Carvacrol e timol são alguns dos componentes principais encontramos nos óleos essenciais do orégano e do tomilho. Após serem produzidos pela planta, desempenham um mecanismo de defesa química contra patógenos, pragas e condições climáticas. Para além de apresentarem atividade antifúngica, forte atividade antioxidante, antimicrobiana e inseticida (14). Relativamente as substâncias fenólicas como timol, carvacrol, cinamaldeído e eugenol são os elementos mais comuns em óleos essenciais com atividade antibacteriana significativa (15).

O óleo essencial extraído das folhas da planta *Ocimum tenuiflorum*, contém vários elementos, entre eles, eugenol, óxido de cariofileno e germacreno, e apresentam atividade antioxidante (16). O óleo essencial de manjeriço também apresenta atividade

antioxidante em estudos prévios, e desta-se que a bioatividade e o perfil do óleo essencial depende muito do ambiente, fatores geográficos e dos fatores genéticos da planta (17).

Em estudos realizados com óleo de açafraão do Marrocos, foi detectado diversos compostos voláteis, dentre os quais safranal, acetato de limoneno, α -terpinil, anetol e metileugenol estavam em maior quantidade. Estes compostos apresentaram atividade antioxidante através dos testes DPPH e ABTS (18). O óleo essencial de *Origanum vulgare L. subsp. Glandulosum*, proveniente da Tunísia, também apresentou atividade antioxidante, sendo que continham grande quantidade de p-cimeno e timol (19). O óleo essencial das plantas *Schinus terebinthifolius* e *Siparuna guianensis*, oriundas do estado de Tocantis, apresentaram atividade antioxidante em estudos anteriores (20).

O óleo essencial de melaleuca é extraído de suas folhas e possui grande uso na indústria cosmética pois previne a acne, possui efeito esfoliante da pele e também é utilizado como hidratante capilar. Outro óleo essencial muito utilizado na cosmética é o óleo essencial de rosas, um potente hidratante, promove ação antirrugas e consegue desobstruir os poros da pele (21).

Diversos óleos essenciais extraídos de capim-limão, canela, palmarosa cravo, orégano, apresentaram atividade antifúngica. Acredita-se que alguns fatores ambientais, como temperatura e a atividade em meio aquoso, podem influenciar a atividade antifúngica dos óleos essenciais (7,22–24).

O óleo essencial de *Curcuma zedoria Rosc.* apresentou atividade antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus*, *Corynebacterium amycolatum*, *Escherichia coli*, antifúngica e forte atividade antioxidante (25,26). O óleo de funcho (*Foeniculum vulgare*) também apresenta atividade antibacteriana (27).

Foi relatado que o óleo essencial de laranja possui atividades antimicrobiana, antioxidante, cardioprotetora antifúngica, anticancerígena, neuroprotetora, antiinflamatória. Geralmente este óleo essencial é retirado da casca da laranja, e em menor parte das folhas, por isso é importante reaproveitar as cascas das laranjas, um subproduto da indústria alimentícia, garantindo assim sua sustentabilidade (28,29).

MÉTODOS DE ENCAPSULAÇÃO

Com os recentes avanços da nanotecnologia, é possível liberar o óleo essencial no local e momento correto. Para além disso, pode a melhorar a estabilidade, permeabilidade através das membranas, melhorar a solubilidade, citotoxicidade reduzida e também um aumento da atividade biológica. A encapsulação pode ser feita com lipossomas, nanopartículas lipídicas sólidas, nanocarreadores lipídicos, ciclodextrinas, nanopartículas poliméricas, microemulsão e nanoemulsão. Podemos resumir a encapsulação em aprisionar um composto dentro de outro, produzindo partículas de baixo diâmetro (21,30,31). Na tabela abaixo, encontra-se exemplos de óleos essenciais encapsulados.

Tabela 2 – Óleos essenciais encapsulados

Óleo essencial	Método de encapsulação	Características	Referência
Orégano	Emulsificação O/A e Gelificação iônica	Melhora na taxa de liberação	(32)
Hortelã pimenta	Reticulação	Aumento da atividade antimicrobiana	(33)

Eugenol, timol e carvacrol	Ciclodextrinas em Fluido supercrítico	Melhora na solubilidade e na liberação	(34)
Limoneno e carvona	Microencapsulação em Fluido supercrítico	Aumento de estabilidade	(35)
Lavanda	Microencapsulação com ultrassons	Aumento de estabilidade e atividade antimicrobiana	(36)
Pimenta negra	Nanopartículas poliméricas	Aumento da estabilidade	(30)
β -farneseno	Microencapsulação em Fluido supercrítico	Aumento da estabilidade	(37)
Linalol e acetato de benzila	Ciclodextrinas	Aumento da estabilidade e melhora na liberação	(38)
Alecrim-pimenta	Nanogel por Spray-dried	Liberação modificada	(39)
<i>Zataria multiflora</i> (Timol)	Nanoencapsulação por gelificação iônica	Melhora na atividade antifúngica	(40)
Laranja	Coacervação	Melhora na estabilidade	(41)
Laranja	Nanoemulsão com ultrassons	Aumento da atividade antibacteriana	(42)
Artemísia	Lipossomas	Aumento da atividade antifúngica e antimicrobiana	(43)
Lavanda e laranja	Polimerização interfacial	Aumento do aroma	(44)
Timol	Emulsificação	Aumento da atividade antioxidante e antimicrobiana	(45)
Canela	Gotas de milifluido	Melhora na liberação	(46)
Anis estrelado	Complexação eletroestática e spray-dried	Aumento da atividade antimicrobiana	(47)
<i>Eplingiella fruticosa</i>	Ciclodextrinas por Slurry complexação	Melhora no efeito anti-hiperalgesia	(48)

O óleo essencial de orégano foi encapsulado com nanopartículas de quitosana, para isso foi utilizado duas etapas de preparação, primeiramente uma emulsão O/A e posteriormente uma gelificação iônica. Obteve-se pequeno tamanho de partícula (40-80 nm), e após ensaios de liberação *in vitro* apresentou um início rápido seguido de uma liberação lenta do composto (32). Em outro estudo utilizando quitosana, mostraram uma

atividade antimicrobiana contra *Aspergillus flavus* aumentada do óleo essencial de *Mentha piperita* encapsulada em nanogéis de quitosana-ácido cinâmico (33).

Outro exemplo de inclusão de óleo essencial em ciclodextrinas com notável aumento da solubilidade e liberação, foi realizado com os óleos essenciais eugenol, timol e carvacrol (34).

Os óleos essenciais, limoneno e carvona, obtidos da extração com fluido supercrítico da planta cominho, foram incorporados em Ciclodextrinas, do tipo β -CyD, aumentando sua estabilidade, inibindo a volatilização, bem como aumentou a tolerância ao calor dos mesmos. A extração por fluido supercrítico possui muitas vantagens, para além de barata, rápida, segura e não poluente quando usa CO_2 como solvente (35). Também o β -farneseno, um dos elementos mais volátil da camomila, pode ser protegido da volatilização, depois da liofilização, quando microencapsulado com ciclodextrinas do tipo β -CyD (37).

Em estudos anteriores, a fragrância de um perfume foi prolongada com a complexão em ciclodextrinas de linalol e acetato de benzila, aumentando sua estabilidade e o prazo de validade de cosméticos (38).

CONCLUSÕES

Os óleos essenciais são amplamente utilizados para diversas atividades, tanto pela indústria alimentícia como conservantes, quanto para a indústria farmacêutica, como antimicrobianos, antifúngicos. Mas a indústria cosmética também utiliza muito os óleos essenciais, principalmente como antioxidante. Devido a grande demanda, na atualidade a nanotecnologia tem sido amplamente utilizada, devido a seu grande impacto que tem sobre a liberação do produto, podendo modificar a sua disponibilidade. Para além disso, os produtos baseados em nanossistemas conseguem aumentar a estabilidade do mesmo. Por fim, os óleos essenciais também têm mostrado resultados promissores com a nanotecnologia inovadora, potencialmente tratando a maioria das doenças tóxicas.

REFERÊNCIAS

1. Milagres de Almeida J, Crippa BL, Martins Alencar de Souza VV, Perez Alonso VP, da Motta Santos Júnior E, Siqueira Franco Picone C, et al. Antimicrobial action of Oregano, Thyme, Clove, Cinnamon and Black pepper essential oils free and encapsulated against foodborne pathogens. *Food Control*. 2023;144:109356.
2. Bizzo HR, Hovell AMC, Rezende CM. Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas. *Quim Nova*. 2009;32:588–94.
3. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils—a review. *Food Chem Toxicol*. 2008;46(2):446–75.
4. Cho Y, Kim H, Beuchat LR, Ryu J-H. Synergistic activities of gaseous oregano and thyme thymol essential oils against *Listeria monocytogenes* on surfaces of a laboratory medium and radish sprouts. *Food Microbiol*. 2020;86:103357.
5. Turek C, Stintzing FC. Stability of essential oils: a review. *Compr Rev food Sci food Saf*. 2013;12(1):40–53.
6. Tongnuanchan P, Benjakul S. Essential oils: extraction, bioactivities, and their uses for food preservation. *J Food Sci*. 2014;79(7):R1231–49.
7. Nazzaro F, Fratianni F, Coppola R, Feo V De. *Essential Oils and Antifungal Activity*. Vol. 10, Pharmaceuticals. 2017.
8. Silveira JC, Busato N, Costa A, Junior EC. Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais. *Enciclopédia Biosf*. 2012;8(15).

9. Souza S, Meira M, Figueiredo L, Martins E. Óleos essenciais: aspectos econômicos e sustentáveis. *Enciclopédia Biosf.* 2010;6(10).
10. Dylong D, Hausoul PJC, Palkovits R, Eisenacher M. Synthesis of (–)-menthol: Industrial synthesis routes and recent development. *Flavour Fragr J.* 2022 Jul 1;37(4):195–209.
11. Abdelli M, Moghrani H, Aboun A, Maachi R. Algerian *Mentha pulegium* L. leaves essential oil: Chemical composition, antimicrobial, insecticidal and antioxidant activities. *Ind Crops Prod.* 2016;94:197–205.
12. Domingues PM, Santos L. Essential oil of pennyroyal (*Mentha pulegium*): Composition and applications as alternatives to pesticides—New tendencies. *Ind Crops Prod.* 2019;139:111534.
13. Makkar MK, Sharma S, Kaur H. Evaluation of *Mentha arvensis* essential oil and its major constituents for fungitoxicity. *J Food Sci Technol.* 2018;55(9):3840–4.
14. Naghdi Badi HA, Abdollahi M, Mehrafarin A, Ghorbanpour M, Tolyat SM, Qaderi A, et al. An overview on two valuable natural and bioactive compounds, thymol and carvacrol, in medicinal plants. *J Med Plants.* 2017;16(63):1–32.
15. Zhu Y, Li C, Cui H, Lin L. Encapsulation strategies to enhance the antibacterial properties of essential oils in food system. *Food Control.* 2021;123:107856.
16. Kunihiro K, Kikuchi Y, Nojima S, Myoda T. Characteristic of aroma components and antioxidant activity of essential oil from *Ocimum tenuiflorum* leaves. *Flavour Fragr J.* 2022 Jul 1;37(4):210–8.
17. Shiwakoti S, Saleh O, Poudyal S, Barka A, Qian Y, Zheljaskov VD. Yield, Composition and Antioxidant Capacity of the Essential Oil of Sweet Basil and Holy Basil as Influenced by Distillation Methods. *Chem Biodivers.* 2017 Apr 1;14(4):e1600417.
18. Kabiri G, Hssaini L, Naim N, Houmanat K, Ennahli S, Fauconnier M-L, et al. Aromatic potential, quality and antioxidant activity of saffron grown in Morocco. *Flavour Fragr J.* 2023 Jan 1;38(1):13–26.
19. Mechergui K, Coelho JA, Serra MC, Lamine SB, Boukhchina S, Khouja ML. Essential oils of *Origanum vulgare* L. subsp. *glandulosum* (Desf.) Ietswaart from Tunisia: chemical composition and antioxidant activity. *J Sci Food Agric.* 2010 Aug 15;90(10):1745–9.
20. dos Santos RM, Nogueira KL, Chaplaa VM. Composição Química e Atividade Antioxidante de Óleos Essenciais das Folhas da *Schinus terebinthifolius* e *Siparuna guianensis*. *Rev Virtual Química.* 2023;1–6.
21. Kashyap N, Kumari A, Raina N, Zakir F, Gupta M. Prospects of essential oil loaded nanosystems for skincare. *Phytomedicine Plus.* 2022;2(1):100198.
22. Jahanshiri Z, Shams-Ghahfarokhi M, Allameh A, Razzaghi-Abyaneh M. Inhibitory effect of eugenol on aflatoxin B1 production in *Aspergillus parasiticus* by downregulating the expression of major genes in the toxin biosynthetic pathway. *World J Microbiol Biotechnol.* 2015;31(7):1071–8.
23. Perczak A, Juś K, Marchwińska K, Gwiazdowska D, Waśkiewicz A, Goliński P. Degradation of zearalenone by essential oils under in vitro conditions. *Front Microbiol.* 2016;7:1224.
24. Velluti A, Sanchis V, Ramos AJ, Turon C, Marin S. Impact of essential oils on growth rate, zearalenone and deoxynivalenol production by *Fusarium graminearum* under different temperature and water activity conditions in maize grain. *J Appl Microbiol.* 2004;96(4):716–24.
25. Angel GR, Vimala B, Bala N. Antioxidant and antimicrobial activity of essential



- oils from nine starchy *Curcuma* species. *Int J Curr Pharm Res*. 2012;4(2):45–7.
26. Lai EYC, Chyau C-C, Mau J-L, Chen C-C, Lai Y-J, Shih C-F, et al. Antimicrobial activity and cytotoxicity of the essential oil of *Curcuma zedoaria*. *Am J Chin Med*. 2004;32(02):281–90.
 27. Dong L-J, Huang X-Y, Wei Z-F, Zhao B-S, Yang H-Y. Dual-cooled microwave extraction of *Foeniculum vulgare* essential oil and its chemical composition and antibacterial activity: Comparison with hydrodistillation and conventional microwave. *Flavour Fragr J*. 2022 May 1;37(3):154–62.
 28. del Carmen Razola-Díaz M, Guerra-Hernández EJ, García-Villanova B, Verardo V. Recent developments in extraction and encapsulation techniques of orange essential oil. *Food Chem*. 2021;354:129575.
 29. Magalhães ML, Ionta M, Ferreira GÁ, Campidelli MLL, Nelson DL, Ferreira VRF, et al. Biological activities of the essential oil from the Moro orange peel (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck). *Flavour Fragr J*. 2020;35(3):294–301.
 30. Costa ÍC, Azevedo SG, Sanches EA, Fonseca Filho HD da. Caracterização de nanopartículas poliméricas preenchidas com óleo essencial de *Piper nigrum* por microscopia de força atômica. *Matéria* (Rio Janeiro). 2021;26(2).
 31. El Asbahani A, Miladi K, Badri W, Sala M, Addi EHA, Casabianca H, et al. Essential oils: From extraction to encapsulation. *Int J Pharm*. 2015;483(1–2):220–43.
 32. Hosseini SF, Zandi M, Rezaei M, Farahmandghavi F. Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and in vitro release study. *Carbohydr Polym*. 2013;95(1):50–6.
 33. Beyki M, Zhavah S, Khalili ST, Rahmani-Cherati T, Abollahi A, Bayat M, et al. Encapsulation of *Mentha piperita* essential oils in chitosan–cinnamic acid nanogel with enhanced antimicrobial activity against *Aspergillus flavus*. *Ind Crops Prod*. 2014;54:310–9.
 34. Locci E, Lai S, Piras A, Marongiu B, Lai A. ¹³C-CPMAS and ¹H-NMR Study of the Inclusion Complexes of β -Cyclodextrin with Carvacrol, Thymol, and Eugenol Prepared in Supercritical Carbon Dioxide. *Chem Biodivers*. 2004;1(9):1354–66.
 35. Partanen R, Ahro M, Hakala M, Kallio H, Forssell P. Microencapsulation of caraway extract in β -cyclodextrin and modified starches. *Eur Food Res Technol*. 2002;214(3):242–7.
 36. Yuan C, Wang Y, Liu Y, Cui B. Physicochemical characterization and antibacterial activity assessment of lavender essential oil encapsulated in hydroxypropyl-beta-cyclodextrin. *Ind Crops Prod*. 2019;130:104–10.
 37. Kaiser CS, Römpf H, Schmidt PC. Supercritical carbon dioxide extraction of chamomile flowers: extraction efficiency, stability, and in-line inclusion of chamomile–carbon dioxide extract in β -cyclodextrin. *Phytochem Anal An Int J Plant Chem Biochem Tech*. 2004;15(4):249–56.
 38. Numanoglu U, Şen T, Tarimci N, Kartal M, Koo OMY, Önyüksel H. Use of cyclodextrins as a cosmetic delivery system for fragrance materials: linalool and benzyl acetate. *Aaps Pharmscitech*. 2007;8(4):34–42.
 39. Abreu FOMS, Oliveira EF, Paula HCB, de Paula RCM. Chitosan/cashew gum nanogels for essential oil encapsulation. *Carbohydr Polym*. 2012;89(4):1277–82.
 40. Mohammadi A, Hashemi M, Hosseini SM. Nanoencapsulation of *Zataria multiflora* essential oil preparation and characterization with enhanced antifungal activity for controlling *Botrytis cinerea*, the causal agent of gray mould disease. *Innov food Sci Emerg Technol*. 2015;28:73–80.

41. Rojas-Moreno S, Osorio-Revilla G, Gallardo-Velázquez T, Cárdenas-Bailón F, Meza-Márquez G. Effect of the cross-linking agent and drying method on encapsulation efficiency of orange essential oil by complex coacervation using whey protein isolate with different polysaccharides. *J Microencapsul.* 2018;35(2):165–80.
42. Van Dat D, Van Cuong N, Le PHA, Anh TTL, Viet PT, Huong NTL. Orange Peel Essential Oil Nanoemulsions Supported by Nanosilver for Antibacterial Application. *Indones J Chem.* 2020;20(2):430–9.
43. Risaliti L, Pini G, Ascrizzi R, Donato R, Sacco C, Bergonzi MC, et al. *Artemisia annua* essential oil extraction, characterization, and incorporation in nanoliposomes, smart drug delivery systems against *Candida* species. *J Drug Deliv Sci Technol.* 2020;59:101849.
44. Velmurugan P, Ganeshan V, Nishter NF, Jonnalagadda RR. Encapsulation of orange and lavender essential oils in chitosan nanospherical particles and its application in leather for aroma enrichment. *Surfaces and Interfaces.* 2017;9:124–32.
45. Bilenler T, Gokbulut I, Sislioglu K, Karabulut I. Antioxidant and antimicrobial properties of thyme essential oil encapsulated in zein particles. *Flavour Fragr J.* 2015;30(5):392–8.
46. Farahmand A, Emadzadeh B, Ghorani B, Poncelet D. Droplet-based millifluidic technique for encapsulation of cinnamon essential oil: Optimization of the process and physicochemical characterization. *Food Hydrocoll.* 2022;129:107609.
47. Zhang L, Zhang M, Ju R, Bhandari B, Liu K. Antibacterial mechanisms of star anise essential oil microcapsules encapsulated by rice protein-depolymerized pectin electrostatic complexation and its application in crab meatballs. *Int J Food Microbiol.* 2023;384:109963.
48. John de Oliveira Melo A, Heimarth L, Maria dos Santos Carvalho A, de Souza Siqueira Quintans J, Serafini MR, Antunes de Souza Araújo A, et al. *Eplingiella fruticosa* (Lamiaceae) essential oil complexed with β -cyclodextrin improves its anti-hyperalgesic effect in a chronic widespread non-inflammatory muscle pain animal model. *Food Chem Toxicol.* 2020;135:110940.

Capítulo 05

Doi.org/10.53934/9786599965814-05

REVESTIMENTO ATIVO DE AMIDO DE MANDIOCA COM EXTRATO DE *Momordica charantia* L. PARA CONTROLE *in vitro* de *Colletotrichum gloesporioides*

Isamara Reis Gomes *; Éder Dutra de Resende 

Laboratório de Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Av. Aberto Lamego, 2000, Parque Califórnia, 28013-602, Campos dos Goytacazes - RJ

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email:isamarareisgomes@gmail.com

Resumo: O fungo *Colletotrichum gloesporioides* é o principal causador da doença antracnose em frutos de mamoeiros. Esta doença se caracteriza por lesionar o fruto, deixando-o impróprio para o consumo, resultando em grandes perdas pós-colheita do mamão. Diversas tecnologias têm sido testadas para controle desse fungo, dentre elas o uso de fungicidas sintéticos, mas o uso de revestimento ativo incorporado com produtos antimicrobianos com óleos e extratos vegetais tem se tornado uma tecnologia emergente, por se tratar de um produto natural, de fácil manipulação e de baixo custo. O objetivo do trabalho é avaliar a Concentração Mínima Inibitória (CMI) de *Momordica charantia* L. para controle do crescimento de *Colletotrichum gloesporioides*. Desta forma, o estudo da metodologia de produção, aplicação e utilização do revestimento ativo de amido de mandioca incorporado com extrato de *Momordica charantia* L. se mostrou efetivo no controle *in vitro* do crescimento de *Colletotrichum gloesporioides*. A Concentração Mínima Inibitória (CMI) do extrato no revestimento ativo foi de 1,174% de massa seca do extrato aquoso, possibilitando 99% de inibição do crescimento do fungo, mostrando o potencial deste extrato aquoso para ser utilizado no controle do fungo *Colletotrichum gloesporioides*.

Palavras-chave: Extrato aquoso; Inibição do crescimento micelial; Revestimento ativo

Abstract: The fungus *Colletotrichum gloesporioides* is the main cause of anthracnose disease in papaya fruits. This disease is characterized by injuring the fruit, leaving it inappropriate for consumption, resulting in large post-harvest papaya losses. Several technologies have been tested to control this fungus, including the use of synthetic fungicides, but the use of active coating incorporated with antimicrobial products with oils and plant extracts has become an emerging technology, as it is a natural product, easy to handling and low cost. The objective of this work is to evaluate the Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of *Momordica charantia* L. extract to control the growth of *Colletotrichum gloesporioides*. Thus, the study of the production methodology, application and use of the active coating of cassava starch incorporated with *Momordica charantia* L. extract proved to be effective in controlling the *in vitro* growth of *Colletotrichum gloesporioides*. The Minimum Inhibitory Concentration (MIC) of the extract in the active coating was 1.174% of dry mass of the aqueous extract, enabling

99% inhibition of fungal growth, showing the potential of this aqueous extract to be used in the control of fungus *Colletotrichum gloesporioides*.

Key Word: Aqueous extract; Inhibition of mycelial growth; active coating

INTRODUÇÃO

Segundo a FAO (1), o Brasil é o segundo maior produtor de mamão do mundo, ficando atrás somente da Índia. Esta grande produção de mamão no Brasil é graças as condições climáticas do país tropical que favorece o cultivo da planta.

O fruto de mamão sofre grandes perdas na produção provocadas por doenças fúngicas, dentre estas doenças a antracnose tem grande destaque. Esta doença é provocada pelo fungo *Colletotrichum gloesporioides* que produz uma lesão na superfície do fruto, deixando-o impróprio para o consumo (2).

Diversas tecnologias vêm sendo utilizadas para o controle fúngico do *Colletotrichum gloesporioides* e aumento da vida útil do fruto de mamão, tais como o uso de refrigeração, tratamentos químicos, uso de embalagens de atmosfera modificada, uso de revestimentos ativos, aplicação de extratos vegetais e óleos essenciais, dentre outros, minimizando assim as perdas pós-colheita e aumentando a validade comercial do mamão (3).

Os revestimentos ativos são películas de espessuras variadas, oriundos de substâncias naturais ou sintéticas, que não apresentam riscos à saúde do consumidor e que conseguem interagir com a estrutura do produto (4).

O amido de mandioca é um polissacarídeo abundante na natureza, e o mais utilizado para elaboração de coberturas comestíveis, é um produto de baixo custo e alta disponibilidade, é de fácil manipulação, é um produto biodegradável, contribuindo para uma menor poluição ambiental, quando lançado no meio ambiente (5).

Alguns produtos naturais tais como extratos vegetais tem se tornado uma tecnologia emergente, muito utilizado para o controle fúngico em frutos e vegetais. O extrato aquoso de folhas de *Momordica charantia L.* apresenta em sua composição, compostos bioativos como, alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos, glicosídeos e esteroides que apresentam atividade antimicrobiana (6). Já existem diversos trabalhos na literatura mostrando estudos da eficiência antifúngica de extratos de *Momordica charantia L.* na inibição do fungo *Colletotrichum gloesporioides* (7; 8; 9).

O presente trabalho buscou avaliar a Concentração Mínima Inibitória (CMI) de *Momordica charantia L.* para controle do crescimento de *Colletotrichum gloesporioides*. A presente pesquisa é importante pois se mostra uma alternativa sustentável, com uso de um promissor antifúngico natural, produto do metabolismo secundário de plantas, que promove inibição do crescimento micelial do fungo *Colletotrichum gloesporioides*, responsável por grandes perdas na produção de mamão.

MATERIAL E MÉTODOS

O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* foi isolado diretamente de frutos de mamão *Caricapa paya L.*, que foram mantidos em câmara de incubação BOD (SP Labor) na temperatura de 25 °C, até adquirirem sintomas da doença e sinais de patógeno.

O revestimento à base de amido de mandioca foi preparado na concentração de 6% de fécula de mandioca da marca PATUSCO, adquirido em supermercado de Campos dos Goytacazes (RJ).

O extrato foi preparado com folhas de *Momordica charantia L.* colhidas na Zona da Mata Mineira (Latitude: -20.906657 e longitude: -42.240492), Eugenópolis e transportadas até o laboratório (LTA/UENF), onde foram higienizadas e processadas em secador de bandejas (Pardal), na temperatura de 50 °C com ventilação forçada de ar, durante 24 horas. Após secagem, as folhas foram trituradas em moinho analítico (marca QUIMIS) até obtenção de pó com granulometria de 0,297 mm (peneira de 50 MASH). O pó do extrato seco foi utilizado na infusão para preparo do extrato aquoso.

Para preparar o extrato aquoso de *Momordica charantia L.*, o extrato seco foi pesado em balança analítica de acordo com a concentração utilizada. Utilizou-se a técnica de infusão para o preparo. A água destilada foi previamente aquecida em chapa aquecedora até a temperatura de 80 °C, em seguida foi adicionada a proporção de massa de extrato seco adequada para cada concentração do revestimento. O material foi mantido sob agitação por 2 minutos para homogeneização do extrato e possibilitar a extração dos componentes ativos, sendo então filtrado em filtro de papel, resfriado e acondicionado em frasco estéril na geladeira. Foram usados extratos nas concentrações de 0%, 0,143%, 0,286%, 0,572%, 0,858%, 1,144%, 1,430%, 1,716%, 2,002% e 2,288% de massa seca (g 100 mL⁻¹) para os testes *in vitro*.

Previamente ao experimento, foram definidas as porcentagens de massa seca em cada volume de extrato líquido, mediante análises de umidade em estufa (Quimis), a 105 °C por 24 horas, a fim de quantificar a massa seca de cada volume de extrato (g 100 mL⁻¹).

A incorporação do extrato aquoso de *Momordica charantia L.* no revestimento ativo foi padronizada com um volume constante de 10 mL de extrato aquoso, para cada 40 mL de revestimento de fécula de mandioca (6%).

A homogeneização e incorporação do extrato líquido no revestimento foram feitas por meio de agitação (Turrtec TE), a 10.000 rpm por 20 min. A definição da faixa de concentrações baseou-se em experimentos preliminares, em que foram testadas concentrações máximas para inibição completa do crescimento do fungo.

Placas de Petri foram preparadas com 20 mL de meio de cultura BDA (batata 200 g/l, dextrose 20 g/l, ágar 20 g/l) da marca KASVI, devidamente esterilizado em Autoclave, com temperatura de 120 °C e pressão de 1 kgf/cm², por 15 min e acidificado com ácido tartárico. Após solidificação do meio BDA e a formação de uma camada regular em toda a placa de Petri, estas receberam um volume de 10 mL de revestimento ativo incorporado com o extrato aquoso e foram acondicionadas em geladeira por 24 h, com temperatura de 10 °C para solidificação do revestimento na placa.

A inoculação foi realizada em câmara de fluxo laminar, utilizando um inóculo de 5 mm de diâmetro do micélio de *C. gloeosporioides* que foi repicado para o centro de cada placa de Petri de 9 cm de diâmetro, as quais foram vedadas com filme PVC e mantidas em B.O.D. na temperatura de 25 °C, até que as amostras controles atingissem 2/3 do diâmetro da placa. A avaliação do crescimento micelial foi verificada a cada dia, pela mensuração do diâmetro das colônias, em quatro direções diametralmente opostas, obtendo-se a média dos diâmetros de desenvolvimento dos micélio. Ao fim de 7 d foi calculada a área do crescimento do micélio, levando em consideração a área de um círculo, conforme a Equação 1.

$$A = \pi r^2 \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que:

A = área do micélio (cm²)

π = valor de “pi”

r = valor do raio de círculo do micélio (cm)

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, constituído de dez tratamentos com diferentes concentrações de matéria seca no extrato: de 0%; 0,143%; 0,286%; 0,572 %; 0,858%; 1,144%; 1,430%; 1,716%; 2,002% e 2,288%, com quatro repetições para cada tratamento, sendo o tratamento controle representado por 0% de extrato, relativo ao raio medido na placa em que o fungo é depositado somente em meio BDA.

A concentração mínima inibitória (CMI) foi obtida a partir do ajuste de um modelo não-linear, que descreve a correlação entre a área de crescimento do fungo (cm²) em função da concentração de matéria seca do extrato de *Momordica charantia L.* no revestimento (g 100 mL⁻¹). A CMI foi definida no ponto da curva em que a concentração de matéria seca do extrato no revestimento inibe o crescimento total do fungo, aos 7 d de incubação em B.O.D. a 28 °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento da concentração do extrato no revestimento ativo promove uma inibição parcial ou total do crescimento do fungo à medida que se aumenta o teor de matéria seca do extrato no revestimento. Resultados similares foram obtidos por Venturosos et al. (9) e Silva et al. (8).

Ao final de 7 d de incubação nota-se que o tratamento controle já tinha atingido quase toda a superfície da placa de Petri, enquanto nos outros tratamentos observa-se menor área de crescimento micelial à medida que se aumenta a concentração de massa seca do extrato no revestimento, conforme ilustrado na Figura 1.

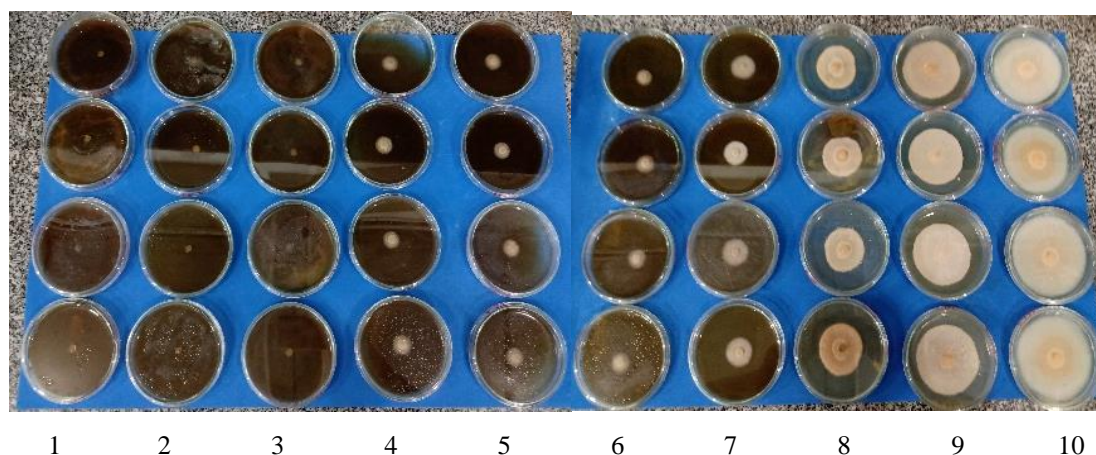


Figura 1: Ilustração do efeito de inibição do crescimento do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* em placas de Petri contendo diferentes concentrações de extrato de *Momordica charantia L.* no revestimento ativo contendo 2,288% (1), 2,002% (2), 1,716% (3), 1,430% (4), 1,144% (5), 0,858% (6), 0,572 % (7), 0,286% (8), 0,143% (9) e Controle (10), na sequência da esquerda para a direita, avaliado após 7 d de incubação a 28 °C.

O tratamento controle apresentou área de crescimento do fungo de 37,65 cm² após 7 d de incubação a 28 °C, ocorrendo redução desta área à medida que se aumentou a concentração de massa seca no extrato no revestimento ativo. Resultados similares foram encontrados por Silva et al. (8), em seu trabalho com uso do extrato de *Momordica charantia L.* para inibição do crescimento micelial de *Colletotrichum gloeosporioides*.

O tratamento com o revestimento contendo 0,143% de massa seca do extrato foi o que apresentou a menor inibição do crescimento micelial, com uma área de crescimento de 30,18 cm². No entanto, o revestimento contendo 2,288% de massa seca do extrato, apresentou grande capacidade de inibição do fungo, com uma área de crescimento residual de 0,01 cm². Nota-se na Figura 2 que o revestimento ativo contendo 0,856% de matéria seca do extrato já alcançou valores muito altos de inibição do fungo, porém, esse efeito de inibição segue uma curva definida por um modelo exponencial decrescente que tende a um valor residual mínimo.

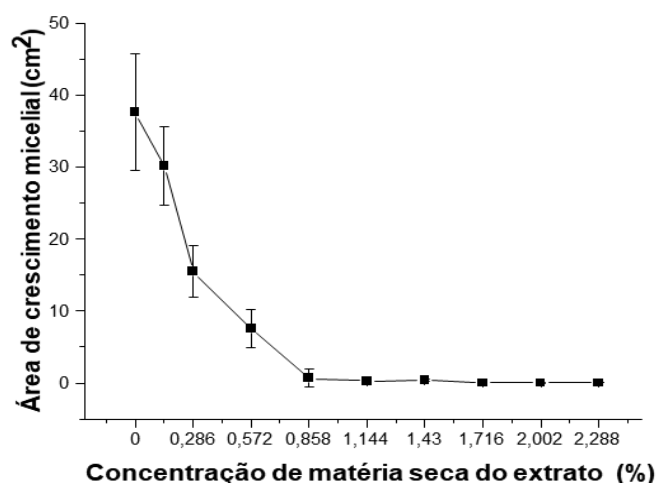


Figura 2: Curva de inibição do *Colletotrichum gloeosporioides* caracterizada pela área de crescimento do fungo em placas de Petri contendo revestimentos ativos com diferentes concentrações de massa seca no extrato aquoso, aos 7 d de incubação a 28 °C. Os pontos experimentais estão representados com os respectivos coeficientes de variação das medidas.

A concentração mínima inibitória (CMI) foi calculada levando em consideração a porcentagem de matéria seca do extrato, que garante a inibição de 99% da área de crescimento do fungo. O modelo adimensional de ajuste da curva está indicado na Equação 2. Este modelo descreve a porcentagem de inibição do crescimento do fungo, tendo como estado de referência o crescimento máximo de 100% no tratamento controle. A CMI para o fungo *Colletotrichum gloeosporioides* foi atingida com concentração de 1,174% de matéria seca no extrato.

$$e^{-\lambda x} (1 + \lambda x) - (1 - pc) = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que:

λ = Valor de lambda calculado previamente no ajuste do modelo aos dados experimentais (5,6544)

x = concentração de matéria seca do extrato no revestimento ativo (%)

pc = Porcentagem de inibição (0,99)

As placas dos tratamentos que apresentaram alta capacidade de inibição permaneceram incubadas por um período de 20 d, a fim de se observar a efetividade da inibição do crescimento micelial por um período maior de tempo, notando-se que mesmo após 20 d de incubação, as placas não apresentaram crescimento significativo.

Segundo Celoto et al. (7), extratos aquosos e hidroetanólico, obtidos de folhas e ramos de *Momordica charantia* L, na concentração de 50% em relação ao volume

adicionado em meio sólido, proporcionaram 71% e 65% de inibição do crescimento micelial do fungo *Colletotrichum gloeosporioides*.

CONCLUSÕES

O extrato de *Momordica charantia L.* foi eficiente para controle do crescimento *in vitro* do fungo *Colletotrichum gloeosporioides*. A Concentração Mínima Inibitória (CMI) do extrato no revestimento ativo é de 1,174% de massa seca do extrato aquoso, possibilitando 99% de inibição do crescimento do fungo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a UENF pela oportunidade de desenvolvimento do trabalho, à FAPERJ pelo apoio financeiro e à CAPES pela bolsa de estudos.

REFERÊNCIAS

1. FAO. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (2019). Disponível em: <<http://www.fao.org/statistics/en/>>. Acessado em: dezembro, de 2022.
2. TAN, Guang Heng; ALI, Asgar; SIDDIQUI, Yasmeen. Current strategies, perspectives and challenges in management and control of postharvest diseases of papaya. *Scientia Horticulturae*, v. 301, p. 111139, 2022.
3. DE OLIVEIRA, Vanessa Caroline; MENDES, Fabrícia Queiroz. Técnicas de preservação pós-colheita de frutas e hortaliças: uma revisão narrativa. *Ciência e tecnologia de alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas*. 2021- Volume 2. 720:722.
4. Maia, L. H.; Porte, A.; DE SOUZA, V. F. (2000). Filmes comestíveis: aspectos gerais, propriedades de barreira a umidade e oxigênio. *Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos*, 18(1).
5. Sapper, M.; Chiralt, A. (2018). Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. *Coatings*, v. 8, n. 5, p. 152.
6. Mada, S. B.; Garba, A.; Mohammed, H. A.; Muhammad, A.; Olagunju, A.; Muhammad, A. B. (2013). Antimicrobial activity and phytochemical screening of aqueous and ethanol extracts of *Momordica charantia L.* leaves. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(10), 579-586.
7. Celoto, M. I. B.; Papa, M. F. S.; Sacramento, L. V. S.; Celoto, F. J. (2011). Atividade antifúngica de extratos de *Momordica charantia L.* sobre *Colletotrichum musae*. *Revista Brasileira de plantas medicinais*, 13(3), 337-341.

8. da Silva, J. G., Melo, R. P., Araújo, J. D. M., Pessoa, M. N. G., Albiero, D., & de Almeida Monteiro, L. (2011). 10455-Avaliação de extrato de melão de são caetano (*Momordica charantia* L.) como medida alternativa de controle a fungos fitopatogênicos. *Cadernos de Agroecologia*, 6(2).

9. Venturoso, L. D. R.; Bacchi, L. M. A.; Gavassoni, W. L.; Conus, L. A.; Pontim, B. C. A.; Bergamin, A. C. (2011). Atividade antifúngica de extratos vegetais sobre o desenvolvimento de fitopatógenos. *Summa Phytopathologica*, 37(1), 18-23.

Capítulo 06

Doi.org/10.53934/9786599965814-06

BIOSSÍNTESE DE ÓLEOS ESSENCIAIS: UMA MINI REVISÃO

Anderson Henrique Venâncio *; Bruna Azevedo Balduino ; Mônica Aparecida da Silva ; Michelle Carlota Gonçalves ; Cassia Duarte Oliveira ; Mateus Santos Carapiá ; Roberta Hilsdorf Piccoli 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email:
anderson123dfgh21@gmail.com

Resumo: Os óleos essenciais são substâncias obtidas das plantas, lipofílicas, odoríferas, oleosas, insaturáveis na presença de luz, formados por fenilpropanoides e terpenoides. A biossíntese dos óleos essenciais é muito complexa, e merece ser investigada com cautela, para verificar onde são formados cada composto químico durante o metabolismo secundário. Diante disso, o trabalho proposto tem como objetivo demonstrar a biossíntese de fenilpropanoides e terpenoides por meio de uma análise de evidências na literatura. Basicamente, através do metabolismo da glicose, o ácido chiquímico por meio de várias reações dá origem aos aminoácidos aromáticos fenilalanina e tirosina que por atuação de enzimas produzem os diferentes fenilpropanoides. Já pela rota do mevalonato, o ácido mevalônico origina os monoterpenos, diterpenos e sesquiterpenos que também compõem os óleos essenciais. Conhecer a biossíntese de óleos essenciais é extremamente importante para conhecer onde cada composto químico é formado durante as reações metabólicas, o que é de grande valia para área de metabolismo químico vegetal.

Palavras-chave: BIOQUÍMICA; CONSERVANTES NATURAIS; INVESTIGAÇÃO;

Abstract: Essential oils are substances obtained from plants, lipophilic, odoriferous, oily, unsaturated in the presence of light, formed by phenylpropanoids and terpenoids. The biosynthesis of essential oils is very complex and deserves to be carefully investigated to verify where each chemical compound is formed during secondary metabolism. Given this context, the proposed work aims to demonstrate the biosynthesis of phenylpropanoids and terpenoids through an analysis of evidence in the literature. Basically, through the metabolism of glucose, shikimic acid, through various reactions, gives rise to the aromatic amino acids phenylalanine and tyrosine which, through the action of enzymes, produce the different phenylpropanoids. As for the mevalonate route, mevalonic acid originates monoterpenes, diterpenes and sesquiterpenes that also make up essential oils. Knowing the biosynthesis of essential oils is extremely important, it is possible to know where each chemical compound is formed during metabolic reactions, which is of great value for the area of plant chemical metabolism.

Key Word: BIOCHEMISTRY; NATURAL PRESERVATIVES; RESEARCH;

INTRODUÇÃO

Os consumidores ao longo do tempo passaram a conhecer melhor os produtos de higiene pessoal e os alimentos de consumo, por meio da leitura de seus rótulos, que informam cada ingrediente químico e o que é utilizado na sua formulação (3, 16). Com o decorrer do tempo, perceberam que esses produtos utilizados continham em sua composição química substâncias naturais como os óleos essenciais e seus componentes químicos majoritários.

O uso de óleos essenciais vem se destacando por serem compostos naturais extraídos das plantas. Algumas pesquisas já têm demonstrado que eles podem substituir parcialmente conservantes químicos como o nitrito/nitrato de sódio e potássio em produtos cárneos (8, 5, 15, 20). Já se sabe, que os aditivos químicos, principalmente quando aplicados em um determinado alimento e consumidos em longo prazo podem gerar consequências graves a saúde, como efeitos mutagênicos e carcinogênicos (11, 13, 17). Dessa forma, os óleos essenciais entram nas formulações como conservantes antimicrobianos e antioxidante naturais e também por conferirem odores que encantam os consumidores da indústria de cosméticos.

O emprego dos óleos essenciais em shampoo, sabonete, loções, perfumes e alimentos já é constante devido a atividades comprovadas como no tratamento de acnes, caspas em cabelos e outras funções biológicas (4, 14). No entanto, alguns desafios podem surgir dentro da indústria na sua aplicação. Por isto, muitos estudos, tem focado no uso de nanotecnologia para prolongar o seu tempo ação, melhorar a solubilização e evitar a interação com outros tipos de componentes químicos, diminuir os aspectos sensoriais nos alimentos, devido ao forte odor produzido, sendo centenas, ou até mais, constituintes químicos desses óleos essenciais responsáveis pelo aroma peculiar (1, 9). Dessa forma, para conhecer cada constituinte químico desses produtos naturais, é importante conhecer o metabolismo químico vegetal.

O metabolismo é caracterizado por reações químicas, onde uma enzima, garante uma direção específica para que essa reação ocorra. Durante o metabolismo químico vegetal, podemos ter reações anabólicas, catabólicas e de biotransformação (19, 23). As reações de biotransformação são extremamente importantes para a formação dos óleos essenciais e ocorrem no metabolismo vegetal secundário e são mediadas por enzimas. Já se sabe que o metabolismo primário, ou seja, o comum entre todos os seres vivos, de formação de macromoléculas orgânicas como carboidratos, proteínas, ácidos nucleicos e lipídeos, é responsável por originar os óleos essenciais no metabolismo secundário, passando por intermediários em vias bioquímicas vegetais como o ácido chiquímico e o acetato (23).

Os óleos essenciais apresentam grandes perspectivas para as indústrias em geral, e podem gerar rentabilidade, seja na área de ciências médicas e farmacêuticas, agrônômica ou alimentar, com uma gama de aplicações, devido as suas atividades biológicas. Porém, deve-se conhecer o metabolismo químico dessas substâncias, para se saber onde cada composto é produzido, e estudar as reações enzimáticas que estão ocorrendo, para poder formar compostos químicos através de reações químicas orgânicas. Diante disso, esse trabalho objetivou descrever e demonstrar como ocorre a biossíntese de fenilpropanóides e terpenóides, que é basicamente a composição química dos óleos essenciais.

ÓLEOS ESSENCIAIS

As plantas e os micro-organismos como fungos e bactérias são seres capazes de produzirem uma infinidade de compostos químicos, que não se assemelham entre si,

apresentando estruturas químicas diferentes umas das outras e que não exercem papel específico durante o metabolismo celular (18). Estes metabólitos das plantas, também chamados de metabólitos secundários, são capazes de serem aplicados em diversas áreas do conhecimento, apresentando atividades biológicas com grande relevância para a área terapêutica, antibacteriana, expectorante, herbicida, inseticida, fungicida, carminativa, anti-tumoral, antioxidante, larvicida, farmacológicas, anti-inflamatória, secretolíticas, dentre outras (23).

De acordo com a ISO 9235 (*International Standard Organization*, 2013), os óleos essenciais são substâncias obtidas das plantas ou de suas partes por métodos de hidrodestilação ou destilação por arraste a vapor, bem como por processo mecânico de maceração pericarpos de frutas cítricas, sem envolver aquecimento do material (12). Cada óleo essencial é produzido em uma determinada parte da planta. Pode-se obter o óleo essencial de diversas partes, como folhas, cascas, madeira, rizomas, raízes, frutos, sementes, flores, caule e cerne, sua composição química varia de acordo com a localização (6). Os óleos essenciais podem ser estocados em partes específicas na planta, como tricomas, idioblastos, pelos, células parenquimáticas diferenciadas e canais oleíferos (23).

Existem diversos fatores que afetam o rendimento e a composição química do óleo essencial, como a idade da planta, fatores ecológicos e ambientais, radiação ultravioleta, temperatura, disponibilidade de água, tipo de solo, umidade, aspectos sanitários, manejo do solo e da planta, nutrientes, época de seca e chuva, máquinas e colhedoras (2, 10, 21). Por isto, se torna necessário realizar a sua caracterização química, onde pode ocorrer modificações deles, de acordo com os fatores que estão direta ou indiretamente ligados com a produção dessas substâncias.

Nas suas características físico-químicas os óleos essenciais apresentam-se como líquidos em temperatura ambiente, são oleosos, voláteis, com aroma agradável, complexos, lipofílicos, ligeiramente incolores ou amarelados, exceto o óleo essencial de camomila que tem a coloração azul devido ao alto teor de azuleno e camazuleno, que são seus constituintes químicos majoritários (22). Eles devem ser armazenados em geladeira, dentro de um frasco âmbar de vidro, envoltos com papel alumínio e protegidos da luz. Os óleos essenciais são diferentes de outros tipos de óleos extraídos de sementes vegetais, que são denominados de óleos vegetais. Podem possuir constituintes químicos como: hidrocarbonetos terpênicos, fenóis, ésteres, furanos, ácidos orgânicos, aldeídos, cetonas, lactonas, peróxido, óxidos, entre outros, até mesmo compostos químicos que contêm enxofre (23).

METABOLISMO QUÍMICO VEGETAL DE ÓLEOS ESSENCIAIS

O metabolismo é muito importante para todos os seres vivos, eucariotos e procariotos, envolve todo conhecimento químico da maquinaria celular. Ocorrem reações anabólicas de construção de macromoléculas e catabólicas de quebra de macromoléculas em moléculas simples. Entretanto, na literatura também está descrita a biotransformação, ou seja, a transformação de uma molécula em outra através de enzimas, relatada durante o metabolismo secundário das plantas aromáticas (23).

De uma forma geral, nas reações bioquímicas que ocorrem em plantas, os compostos estão sempre sendo degradados e enzimas garantem uma direção específica para que essa reação ocorra. Merece destaque, o metabolismo que ocorre nas plantas aromáticas, principais produtoras de óleos essenciais, que foram plantas que evoluíram

através da comunicação com outros tipos de seres vivos como os insetos polinizadores. Dessa forma, a partir dessa degradação, podem se formar dois grandes grupos no metabolismo, o primeiro é o metabolismo primário, garantindo a sobrevivência do indivíduo e o segundo o metabolismo secundário, onde são formados os alcaloides, ligninas, flavonoides, protoalcalóides, alcaloides indólicos e benzilisoquinolínicos, alcaloides pirrolidínicos tropânicos e quizinolínicos, ácidos graxos, cumarinas, taninos, as quinonas e os óleos essenciais constituídos de terpenos e fenilpropanóides (7, 23).

O surgimento das várias substâncias produzidas durante o metabolismo secundário, entre elas os óleos essenciais, dá-se por meio do metabolismo primário, que é um metabolismo comum entre todos os seres vivos, onde são formadas macromoléculas orgânicas simples e complexas como carboidratos, proteínas, aminoácidos, lipídeos, ácidos nucleicos, entre outras substâncias que asseguram a sobrevivência do indivíduo. Ressalta-se que alguns lipídeos são sintetizados durante o metabolismo secundário. A formação dos óleos essenciais se dá por meio do metabolismo da glicose, envolvendo a via dos principais intermediários, o ácido chiquímico e o acetato. Na Figura 1 é apresentado o ciclo biossintético de óleos essenciais, demonstrando-se claramente a formação dos fenilpropanóides e terpenóides (23).

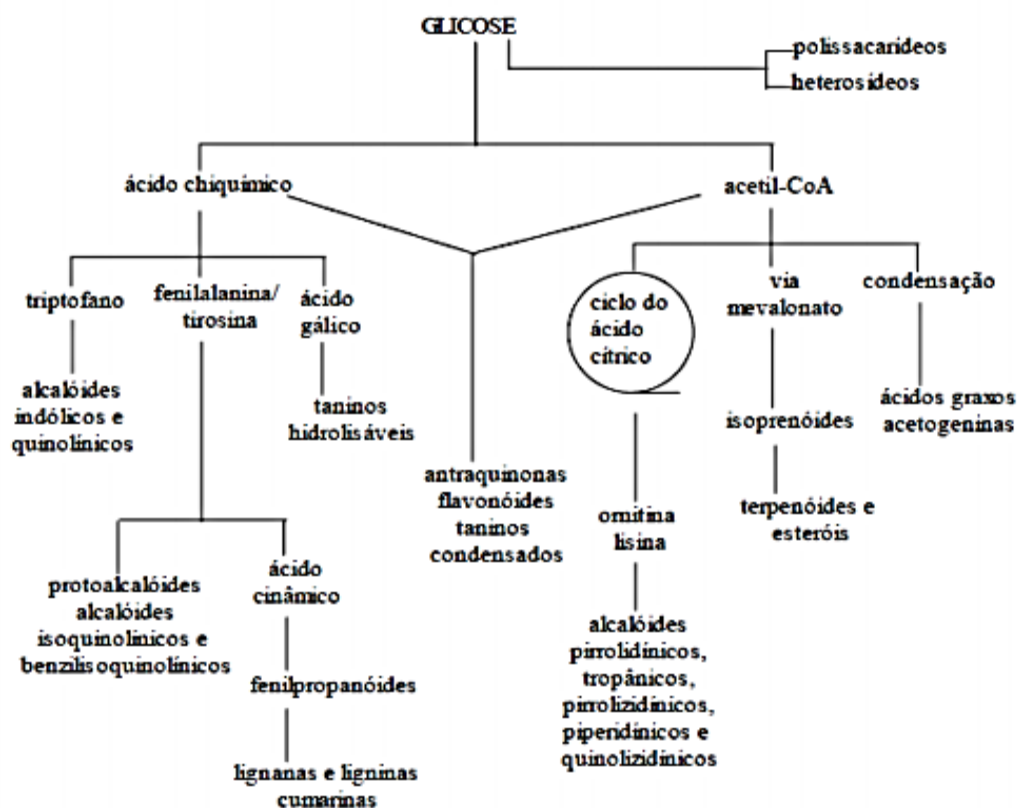


Figura 1- Ciclo biossintético de óleos essenciais.
 Fonte: Simões *et al.* (2007).

BIOSSÍNTESE DE FENILPROPANOIDES

Basicamente, o ácido chiquímico, pela via do chiquimato, por meio de várias reações, origina os aminoácidos aromáticos, fenilalanina e tirosina, que são precursores da formação dos fenilpropanóides, um dos componentes dos óleos essenciais. Dessa forma, de uma maneira explicativa para se formar esses compostos, por meio do

metabolismo da glicose a condensação aldólica da eritrose-4-fosfato, proveniente da via das pentoses, mais o fosfoenolpiruvato produzido na via glicolítica, somado as reações de redução e desidratação originará o ácido chiquímico que se converte por ação de enzima a ácido corísmico, e por meio de reações biotransformação origina os aminoácidos aromáticos fenilalanina e tirosina que por atuação da enzima fenilalanina amoliase (PAL) se transformam em ácido cinâmico e *p*-cumárico que por meio de reações de redução, oxidação e ciclização, produz os diferentes fenilpropanoides (7, 23).

Complementa-se que, as reações que ocorrem nas cadeias laterais dos ácidos cinâmico e *p*-cumárico produzem os diferentes feilpropanóides, na redução enzimática há formação de propenil ou alilbenzenos. Entretanto, a degradação das cadeias laterais leva a oxidação com à formação de aldeídos aromáticos. E as ciclizações enzimáticas, obtém compostos cíclicos com características aromáticas (23).

BIOSSÍNTESE DE TERPENOIDES

Pela rota do mevalonato, que ocorre no citoplasma, a condensação aldólica do aceto acetil coa e acetil coa origina o ácido mevalônico que é convertido através de reações para originar o isopentenil pirofosfato, uma unidade prenitada, que, por meio de uma reação enzimática, origina seu isômero dimetilalil-pirofosfato, e a união da cabeça com a cauda do esqueleto carbonado, originará os monoterpenos, sesquiterpenos e diterpenos que compõem também os óleos essenciais (23).

Os constituintes dos óleos essenciais são derivados de fenilpropanoides ou terpenos, sendo esses últimos predominantes na forma de monoterpenos e sesquiterpenos. Os terpenos são compostos químicos orgânicos, que apresentam oxigênio na cadeia carbônica, dependendo do composto, sendo chamados de terpenoides. Os terpenos e terpenoides derivam do isopreno (2-metilbutanodieno), a partir da rota biossintética do ácido mevalônico. A classificação ocorre pelo número de unidades isoprenicas. A classificação inclui os monoterpenos (10 átomos de carbono), sesquiterpenos (15 átomos de carbono), diterpenos (20 átomos de carbono), sesterpenos (25 átomos de carbonos), triterpenos (30 átomos de carbonos), tetraterpenos (40 átomos de carbonos) e polisoprenoides. Os monoterpenos e sesquiterpenos são os compostos encontrados com maior frequência nos óleos essenciais e podem ser subdivididos em acíclicos, monocíclicos ou bicíclicos (7).

Os terpenos são biossintetizados a partir de metabólitos primários, partindo-se de duas rotas distintas. Aqui vamos citar, apenas a rota do mevalonato, mas também tem-se uma outra relatada na literatura, a via DXPS, pouco elucidada. Assim, três moléculas de acetil-CoA são ligadas, onde há uma série de reações para formar o ácido mevalônico, e este é pirofosforilado, descarboxilado e desidratado, formando o isopentonildifosfato (IPP) (23). Esta é a unidade prenita ativa para a formação dos terpenos, que se interconverte por isomerização em dimetilalildifosfato (DMAPP). As moléculas de IPP, e seu isômero DMAPP, sintetizados, unem-se para originar os terpenos maiores por meio do modelo cabeça- cauda. A adição eletrofílica de unidades de IPP e DMAPP, pela ação da enzima pernil-transferase, forma um cátion alílico, o geranil-difosfato (GPP) que condensa com outra unidade de IPP, produzindo o farnesildifosfato (FPP). Por último, a união de FPP com outra unidade de IPP, leva a formação do geranilgeraniladifosfato (GGPP), precursor dos diterpenos (7, 23).

CONCLUSÕES

Conhecer os óleos essenciais, seu metabolismo químico e os principais compostos majoritários formados é extremamente importante em pesquisas científicas e aplicações industriais. O ciclo biossintético demonstra com clareza como é a produção desses produtos naturais. Cada composto químico pode ser produzido por meio de reações químicas orgânicas. A via dos principais intermediários, do chiquimato e do acetato, é a principal na formação dos fenilpropanoides e terpenoides, monômeros ativos dos óleos essenciais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Lavras, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas-Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

1. Cornélio ML, Almeida ECC. Decifrando a composição dos cosméticos: riscos e benefícios. Uma visão do consumidor sobre o uso de produtos cosméticos. Braz. J. Dev.2020; 5:30563-30575.
2. Morais ACB, Stangarlin-Fiori L, Bertin RL, Medeiros, CO. Conhecimento e uso de rótulos nutricionais por consumidores. DEMETRA: Alimentação, Nutrição & Saúde. 2020; 15:45847.
3. Dias NAA, Pinelli, JJ, Silva MS, Isidoro SR, De Abreu Martins, HH, Gonçalves MC, Ramos EM, Piccoli RH. Viability of *Clostridium difficile* in mortadella with added essential oils and reduced sodium nitrite content. Res., Soc. Dev. 2022; 9:e22111931106-e22111931106.
4. De Cássia Aleixo G, Silva MS, De Abreu Martins HH, Carvalho RMB., Ramos EM, Piccoli RH. Effect of essential oils and major compound on *Clostridium botulinum* endospores inoculated in meat product. Res., Soc. Dev. 2022;7:e38811729854-e3881172985.
5. Martins HHDA, Simões LA, Isidoro SR, Nascimento SDS, Alcântara JP, Ramos EM, Piccoli RH. Preservative of Essential Oil Blends: Control of *Clostridium perfringens* Type a in Mortadella. Brazilian. Braz. Arch. Biol. Technol. 2021;64:1-9.
6. Pinelli JJ, Martins, HHDA, Guimarães AS, Isidoro SR, Gonçalves MC, Junqueira de Moraes TS, Ramos EM, Piccoli, RH. Essential oil nanoemulsions for the control of *Clostridium sporogenes* in cooked meat product: An alternative? LWT. 2021;143:111123.
7. D Hentges D, Zart N, Marmitt LG, Oliveira EC, Scherer F. Concentrações de nitrito e nitrato em salsichas. Rev. Bras. Prom. Saúde. 2016;1:27-33
8. Iamarino LZ, Oliveira MC, Antunes MM, Oliveira M. Rodrigues RO, Zanin

- CICB., Márcio S, Lima AA. Nitritos e nitratos em produtos cárneos enlatados e/ou embutidos. *Gestão em Foco*. 2015;7:246-251.
9. Nader M, Hosseini-zhad, B, Berizi E, Mazloomi SM, Hosseinzadeh S, Zare M, Derakhshan Z, Conti GO, Ferrante M. The residual nitrate and nitrite levels in meat products in Iran: A systematic review, meta-analysis and health risk assessment. *Environ. Research*. 2022; 207:112180.
 10. Go Cruz TS, Da Paixão JA. Aplicação do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (TEA TREE) no tratamento da acne vulgar. *Revista Artigos. Com*. 2021; 29:e7657-e7657.
 11. Maciel AR, Feio KM, Jacó LS, Costa TAN, Flores AS, De Moraes RKS. PRODUÇÃO DE SABÃO A PARTIR DO ÓLEO ESSENCIAL EXTRAÍDO DA ESPÉCIE *Cymbopogon citratus* (CAPIM LIMÃO). Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR, ISSN 2447-1208. 2019; 1.
 12. Bezerra TPW, Bandeira ARG, Lima SHP, Andrade PL. A nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de fármacos: revisão integrativa da literatura. *Res., Soc. Dev*. 2022; 14: e99111436115-e99111436115.
 13. Ferreira LRM, Chitolina L, Dias IC, Endres CM, Duarte MAT. Inovação nanotecnológica em embalagens bioativas para alimentos perecíveis—uma revisão. *Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial*. 2022;2:p. 1-12.
 14. Pereira RJ, Cardoso MG. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. *J. Biotech. Biod*. 2012;4:146152.
 15. Simões CMO, Schenkel EP, De Mello JCP, Mentz LA, Petrovick, PR. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6. ed. Porto Alegre: UFSC/UFRGS; 2007.
 16. Pamphile JA, Costa AT, Rosseto P, Polonio JC, Pereira JO, Azevedo JL. Aplicações biotecnológicas de metabólitos secundários extraídos de fungos endofíticos: o caso do *Colletotrichum* sp. *Revista Uningá*. 2017; 1:113-119.
 17. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9235. *Aromatic natural Raw Materials: Vocabulary*, item 2.11. Genebra, 2013.
 18. De Souza SP, Valverde SS, Da Silva RL, Lima KDSC, Lima ALDS. Óleos essenciais como inibidores da acetilcolinesterase. *Rev. Fitos Elet*. 2013; 4:259-266.
 19. Borges ADC, De Carvalho CEG, De Souza JRL, Morato EF, Cadaxo-Sobrinho ES, Marques DD. Avaliação da composição química e atividade larvicida do óleo essencial de *cymbopogon nardus* no controle de *aedes aegypti* na Amazônia sul-ocidental. *Holos*. 2021;5:1-13.

20. Gobbo-neto L, Lopes NP. Quím. Nova. 2007; 2:374-381.

21. Rocha TS, Santana ALCM, Müller TS, Machado M, De Oliveira GL. Variabilidade química de óleos essenciais de *Protium heptaphyllum*. Res., Soc. Dev. 2022; 10:e288111032835-e288111032835.

22. Sakkas H, Papadopoulou C. Antimicrobial activity of Basil, Oregano, and Thyme essential oils. J. Microb. Biotec. 2017; 3:429-438.

23. Dewick PM. Medicinal natural products: a biosynthetic approach. 2a ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2009.

Capítulo 07

Doi.org/10.53934/9786599965814-07

REVESTIMENTO ATIVO BIODEGRADÁVEL PARA CAJUS: UMA TECNOLOGIA DE COMERCIALIZAÇÃO PÓS-COLHEITA

Maria Eduarda Alves da Paz *; Maria Eduarda Nobre do Nascimento ; João Bruno Guilherme Mendes ; Lucas Teixeira Carneiro ; Katiane Arrais Jales 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: eduardadapaz6@gmail.com

Resumo: *Anacardium occidentale* conhecido popularmente como caju, é um fruto de grande incidência na região nordeste do Brasil, sendo bastante visado na obtenção de castanhas e polpa, de modo que o pedúnculo por apresentar elevado grau de perecibilidade acaba por se estragar resultante de condições inapropriadas de armazenamento ou pela senescência natural do fruto visto os elevados índices de produção. Desse modo o presente estudo, buscou avaliar os possíveis efeitos conservantes do óleo essencial de alecrim aplicado como revestimento, assim através de quatro tempos distintos (0, 5, 10 e 15) foram testados parâmetros de vitamina C, carotenoides, fenólicos totais e DPPH. Os estudos mostraram que o pedúnculo do caju é rico em antioxidantes e que o revestimento aplicado obteve êxito no aumento da vida útil e na conservação dos antioxidantes por um tempo maior que o pedúnculo do caju sem revestimento, tendo assim um grande potencial para utilização comercial do mesmo para o mantimento das características antioxidantes na pós-colheita do pedúnculo do caju.

Palavras-chave: óleo essencial de alecrim; vida útil; *whey protein*

Abstract: *Anacardium occidentale* popularly known as cashew, is a fruit of great incidence in the northeast region of Brazil, being very targeted in obtaining nuts and pulp, so that the peduncle, due to its high degree of perishability, ends up spoiling as a result of inappropriate storage conditions. or by the natural senescence of the fruit, given the high production rates. Thus, the present study sought to evaluate the possible preservative effects of rosemary essential oil applied as a coating, thus through four different times (0, 5, 10 and 15) parameters of vitamin C, carotenoids, total phenolics and DPPH were tested. The studies showed that the cashew apple is rich in antioxidants and that the applied coating was successful in increasing the shelf life and preserving the antioxidants for a longer time than the uncoated cashew apple, thus having great potential for commercial use of the product even for maintaining the post-harvest antioxidant characteristics of the cashew peduncle.

Key Word: rosemary essential oil; shelf life; *whey protein isolate coating*

INTRODUÇÃO

Atualmente, a busca por embalagens que além de proteger os alimentos sejam sustentáveis, tem estimulado a inclusão de polímeros biodegradáveis na produção de embalagens, a fim de atenuar a poluição ambiental causada pelo uso de materiais sintéticos. Dentre as matérias-primas adequadas para a produção de filmes biodegradáveis cita-se amido de mandioca (1), amido de batata (2), amido de arroz (3), mucilagem de chia (4),

zeína (5), ágar (6), gelatina (7), glúten de trigo (8), proteínas de soro de leite (9), colágeno (10) e metilcelulose (11).

Revestimentos comestíveis e/ou filmes ativos que mesclam proteínas, polissacarídeos e extratos e/ou óleos essenciais de plantas tem chamado a atenção das pesquisas (12, 13, 14), por produzirem filmes estruturados com propriedades funcionais muito eficazes na conservação e melhoria da qualidade de alimentos ricos em gorduras (15, 16).

Pesquisas demonstram que os óleos essenciais, se destacam nesse contexto, por interagirem diretamente com os alimentos, aumentando sua vida útil, além de manter seus aspectos nutricionais e sensoriais durante o armazenamento. O óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) tem despertado o interesse das pesquisas por suas moléculas bioativas, como o p-cimeno, α -pineno, β -cariofileno, 4-terpineol, γ -terpineno (17), e ativos de maior concentração como timol e caracol (18, 17, 19).

Uma das grandes dificuldades enfrentadas na comercialização de caju *in natura*, está relacionada a alta perecibilidade dos pedúnculos de caju. Os pedúnculos possuem uma estrutura delicada, ricos em água e nutrientes, e sob temperatura ambiente perde sua firmeza rapidamente, reduzindo significativamente sua vida pós-colheita. Vários estudos que visam prolongar a vida útil pós-colheita dos pedúnculos de caju têm sido realizados, como redução de temperatura de armazenamento (20) e o tratamento de pedúnculos de caju com cálcio sob refrigeração (21). Até o momento há poucas pesquisas que visam aumentar a vida pós-colheita de caju *in natura* por meio de revestimentos comestíveis antimicrobianos, que funcionem como barreira física a sinérese e a degradação fúngica típica dos frutos *in natura*.

Assim, devido a importância cultural e socioeconômica da cajucultura para a região nordeste, ainda há um baixo aproveitamento dos pedúnculos de caju, ocorrendo um desperdício de 80% a 90% da sua produção, e a consequente subutilização desses frutos ricos em vitamina C e minerais. A presente pesquisa se justifica por investigar novas tecnologias de revestimento ativo, com propriedades de barreira expressivas e potencial antimicrobiano, sob refrigeração, que contribua para o aumento da vida pós-colheita de caju para a comercialização *in natura*.

MATERIAL E MÉTODOS

Matéria-prima

Isolado de *whey protein* comercial, com 92% (p/p) de proteína. ACTIVE WM (product n°AJ301402, lote n°00.02.03) contendo transglutaminase de *Streptovorticillium* independente de Ca^{2+} obtido da Ajinomoto Co. (Brasil). Pectina de frutas cítricas (baixo teor de metoxilação), com 9,4% metoxilação (Dinâmica), Gelatina (Dinâmica), Glicerol (Merck).

Foi utilizado um preparado enzimático ACTIVA®YG recomendado para derivados lácteos, com atividade enzimática declarada de 100 U.g^{-1} , da Ajinomoto do Brasil, Indústria e Comércio de Alimentos Ltda. (São Paulo, SP, Brasil).

Os caju foram obtidos no comércio local da cidade de Sobral, Ceará. Logo após foram levados para o Laboratório de Análises Bromatológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE, Campus de Sobral para o início dos experimentos.

Desenvolvimento dos revestimentos

O filme blenda de *whey protein* (WP) e pectina (Pec) controle, foi formulado a partir das duas soluções preparadas separadamente. A solução de *whey protein* (SWP) foi formulada com 1,2g de WP, 0,36 g de glicerol e 3% de gelatina para 25 mL de água destilada. A solução de Pec (SPec) foi elaborada por 1,2 g pectina e 0,36 g de glicerol que foi dissolvido em 25 mL de água destilada. Ambas as soluções foram agitadas por 2 h em temperatura ambiente (20°C) para a hidratação completa das macromoléculas. A SWP foi aquecida em banho-maria sob agitação constante a 80 °C por 25 min para desnaturação das proteínas, enquanto a SPec sofreu agitação sob aquecimento constante de 80 °C por 3 min, para solubilização da pectina em água.

Foram elaboradas três formulações de revestimento, revestimento controle (WP/Pec/TGase), revestimento ativo 1 (WP/Pec/TGase/1%OE) e revestimento ativo 2 (SQ/Pec/TGase/2%OE).

Preparação e armazenamento dos caju

Foram selecionados 24 caju maduros com coloração uniforme entre vermelho-amarelo. Os frutos foram sanitizados com água estéril a 100 ppm/15 min., dispostos em grades suspensas para secagem deles, até o momento da aplicação dos revestimentos controle e ativos.

Na aplicação dos revestimentos cada solução foi colocada em becker sob agitação com barra magnética a temperatura controlada de 25°C. Cada caju foi suspenso pela castanha e imerso manualmente na solução do revestimento correspondente por 1 minuto. Os caju revestidos foram dispostos em grades suspensas para secagem e armazenados em embalagens de polietileno, sendo dois caju para cada tempo de armazenamento (0, 5, 10, 15 dias) e cada tempo com revestimento controle, ativo 1 e ativo 2.

Parâmetros físico-químicos e quantificação de compostos ativos

Para quantificação de compostos ativos, nos caju revestidos sob refrigeração foram: (a) Vitamina C total, quantificada por método titulométrico com o reagente 2,6-diclofenol indofenol (22); (b) Carotenóides totais, segundo a metodologia de Rodriguez-Amaya (23), com adaptações; (c) Fenólicos totais, determinados pelo método espectrofotométrico *Folin-Ciocalteu* (24); (d) Atividade antioxidante por redução do radical livre DPPH, realizada de acordo com a metodologia descrita por Mensor et. al. (25) com adaptações. Os valores de CE₅₀ foram calculados a partir da regressão linear das curvas %AA obtidas para todas as concentrações do extrato. O %AA e CE₅₀ para todos os extratos foram obtidos considerando o valor médio dos ensaios em triplicata.

Análise de dados

Os resultados foram tabulados em planilha eletrônica Excel para obtenção das médias e desvio padrão. Para comparação das médias, foi realizado teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o software Statistica v.10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os valores médios de Vitamina C de pedúnculo de caju refrigerados sem revestimento (controle), pedúnculos com revestimento ativo de 1% de OE alecrim (tratamento 1) e pedúnculos revestidos com 2% (tratamento 2) de OE de alecrim durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Tabela 1 – Análise de Vitamina C de pedúnculo de caju sem revestimento (controle), pedúnculos com tratamento 1% de OEA (T1) e pedúnculo revestidos com 2 % de OEA (T2) durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Período (Dias)	Vitamina C (mg de ácido ascórbico.100g ⁻¹)		
	C	T1	T2
0	189,38 ^{CB} ± 0,03	204,37 ^{BA} ± 0,00	220,96 ^{AA} ± 0,08
5	157,65 ^{CC} ± 0,00	172,52 ^{BC} ± 0,00	172,69 ^{AB} ± 0,00
10	204,86 ^{AA} ± 0,00	188,75 ^{BB} ± 0,07	141,90 ^{CC} ± 0,09
15	141,28 ^{BD} ± 0,13	157,49 ^{AD} ± 0,00	94,17 ^{CD} ± 0,03

C = Controle (Sem o revestimento); T1 = Tratamento 1, (Com o revestimento com 1% de óleo essencial de alecrim); T2 = Tratamento 2 (Com o revestimento com 2% de óleo essencial de alecrim). Valores expressos como média ± desvio padrão. Valores com letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa (p<0,05). Valores com letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa (p<0,05).

O teor de vitamina C para o tratamento controle variou de 189,38 à 141,28 mg de ácido ascórbico.100g⁻¹, no tratamento 1 variou de 204,37 à 157,49 mg ác. ascórbico. 100g⁻¹, e no tratamento 2 de 220,96 à 94,17 mg ác. ascórbico. 100g⁻¹.

Onias et. al. (26), ao estudarem um revestimento biodegradável à base de *Spirulina platensis* na conservação pós-colheita de goiaba Paluma, notaram que houve uma perda gradual ao longo do tempo de avaliações, ou seja, a aplicação de *Spirulina platensis* no revestimento não foi capaz de inibir a queda de AA no decorrer do tempo estimado de estudo (0, 3, 9 e 12 dias), diferentemente do presente estudo, onde no “controle” e no “tratamento 1”, ocorre uma queda do tempo 0 ao tempo 5, um aumento entre 5 e 10 e uma queda do 10 ao 15, enquanto isso, no “tratamento 2” ocorre apenas a diminuição gradual de AA do tempo 0 ao tempo 15.

Ao estudar revestimento à base de quitosana, Hong et. al. (27), observaram que houve a inibição da redução de vitamina C em goiabas em contrações de 1 e 2%, porém, em concentração de 0,5 e controle essa inibição não foi possível, diferentemente do estudo atual, no qual a concentração de 2% de óleo de alecrim não foi capaz de inibir essa degradação, fazendo com que a concentração de 1% deste óleo seja a mais ideal para inibição da queda de AA nos frutos revestidos.

Na Tabela 2 são apresentados os valores médios de Carotenoides Totais de pedúnculo de caju refrigerados sem revestimento (controle), pedúnculos com revestimento ativo de 1% de OE alecrim (tratamento 1) e pedúnculos revestidos com 2% (tratamento 2) de OE de alecrim durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Tabela 2 – Análise de Carotenoides Totais de pedúnculo de caju sem revestimento (controle), pedúnculos com tratamento 1% de OEA (T1) e pedúnculo revestidos com 2 % de OEA (T2) durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Período (Dias)	Carotenoides Totais (µg equivalente β-caroteno/g)		
	C	T1	T2
0	140,74 ^{AA} ± 2,73	131,06 ^{BA} ± 0,00	111,71 ^{CA} ± 0,00
5	67,40 ^{CC} ± 2,72	104,15 ^{AB} ± 0,00	96,30 ^{BB} ± 0,00
10	79,00 ^{BB} ± 2,73	90,58 ^{AC} ± 2,73	65,54 ^{CC} ± 0,00
15	50,09 ^{AD} ± 0,00	38,58 ^{CD} ± 0,00	46,21 ^{BD} ± 0,00

C = Controle (Sem o revestimento); T1 = Tratamento 1, (Com o revestimento com 1% de óleo essencial de alecrim); T2 = Tratamento 2 (Com o revestimento com 2% de óleo essencial de alecrim). Valores expressos

como média \pm desvio padrão. Valores com letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($p < 0,05$). Valores com letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$).

O teor de carotenoides totais para o tratamento controle variou de 140,74 à 50,09 μg equivalente β -caroteno/ g^{-1} , no tratamento 1 variou de 131,06 à 38,58 μg equivalente β -caroteno/ g^{-1} , e no tratamento 2 de 11,71 à 46,21 μg equivalente β -caroteno/ g^{-1} .

Verifica-se uma redução no teor de carotenoides durante o tempo de armazenamento nos três tratamentos, isso ocorre devido durante o amadurecimento dos pedúnculos de caju ocorrer a conversão dos carotenoides em antocianinas gerando a redução natural desse pigmento amarelo. Em relação a quantidade inicial, ao fim do armazenamento observa-se redução de 64,41%, 70,56% e 58,63% da quantidade de carotenoides nas amostras controle, T1 e T2, respectivamente. A amostra T2, portanto, apresentou uma maior retenção dos carotenoides, provavelmente em razão da maior quantidade de óleo essencial de alecrim e de sua atividade antioxidante.

Os carotenoides são os principais pigmentos responsáveis pela cor dos frutos e sucos de caju, principalmente a β -criptoxantina e o β -caroteno (28). Os benefícios relacionados ao seu consumo estão relacionados à sua atividade biológica como atividade antioxidante, antienvhecimento, proteção cardiovascular, anticâncer, entre outros (29). Além disso, uma vez que o β -caroteno é absorvido, ele pode ser convertido em retinol, que é a forma ativa da vitamina A (30).

Desta forma, a RDC nº 269, de 22 de setembro de 2005, que aprova o Regulamento Técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais (31), não apresenta valores para consumo diário de β -caroteno, mas o representa a partir de sua equivalência em μg de retinol, onde cada 1 μg de β -caroteno corresponde a 0,167 μg de retinol, sendo estabelecido um IDR de 600 μg para indivíduos adultos.

Portanto, a partir da conversão dos resultados obtidos, mesmo do menor valor obtido ao fim do armazenamento, seriam necessários cerca de 93,17 g de caju (o equivalente a uma unidade de caju) para suprir a recomendação de ingestão diária de vitamina A. Logo, presume-se que, embora tenha ocorrido considerável redução do teor de carotenoides ao longo do armazenamento, os três tratamentos apresentaram quantidades ótimas para suprimento de sua necessidade diária de consumo.

Na Tabela 3 são apresentados os valores médios de Compostos Fenólicos de pedúnculo de caju refrigerados sem revestimento (controle), pedúnculos com revestimento ativo de 1% de OE alecrim (tratamento 1) e pedúnculos revestidos com 2% (tratamento 2) de OE de alecrim durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Tabela 3 – Análise de Compostos Fenólicos de pedúnculo de caju sem revestimento (controle), pedúnculos com tratamento 1% de OEA (T1) e pedúnculo revestidos com 2 % de OEA (T2) durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Período (Dias)	Compostos Fenólicos (mg AG.100g ⁻¹)		
	C	T1	T2
0	90,82 ^{aA} \pm 2,57	65,36 ^{cC} \pm 0,00	73,55 ^{bA} \pm 0,00
5	72,18 ^{aB} \pm 0,64	73,09 ^{aB} \pm 0,64	77,64 ^{aA} \pm 5,79
10	18,55 ^{cC} \pm 1,93	90,82 ^{aA} \pm 2,57	60,82 ^{bB} \pm 1,29
15	33,55 ^{aD} \pm 0,00	18,09 ^{bD} \pm 1,29	14,45 ^{bC} \pm 1,29

C = Controle (Sem o revestimento); T1 = Tratamento 1, (Com o revestimento com 1% de óleo essencial de alecrim); T2 = Tratamento 2 (Com o revestimento com 2% de óleo essencial de alecrim). Valores expressos como média \pm desvio padrão. Valores com letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($p < 0,05$). Valores com letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$).

O teor de compostos fenólicos para o tratamento controle variou de 90,82 à 33,55 mg AG/100g⁻¹, no tratamento 1 variou de 65,36 à 18,09 mg AG/100g⁻¹, e no tratamento 2 de 73,55 à 14,45 mg AG/100g⁻¹. Em trabalhos de Braga et. al. (33) pode-se observar que os resultados iniciais estiveram no intervalo de 102,91 mg EAG/100g a 284,21 mg EAG/100g, o mesmo autor ainda explica que o conteúdo de fenólicos totais pode variar de pedúnculo para pedúnculo, devido a peculiaridades relacionadas ao solo, clima, estação de crescimento, armazenamento pós-colheita e extração, como também em resposta de defesa da planta.

Na base de alimentação saudável é possível identificar diversos alimentos que contém bioativos em sua composição, sendo o caju uma importante fonte desses compostos (34, 35). Em alimentos, um antioxidante bem presente em frutas cítricas são os compostos fenólicos que são responsáveis por diversas funções, entre elas, a adstringência, aroma e apresentam propriedades antioxidantes (36).

Observa-se que no presente estudo os compostos fenólicos conseguiram manter-se estáveis entre o dia 0 e dia 5 em todos os tratamentos aplicados no pedúnculo do caju. Consequentemente, o papel dos tratamentos utilizados é a estabilização desses compostos após o dia 5, sendo que o controle no tempo 10 já havia degradado, quase que completamente, o conteúdo de polifenóis. No tratamento 1 e 2 observou-se que o revestimento conseguiu manter os compostos fenólicos estáveis até o dia 10 observando uma queda acentuada apenas no dia 15, assim os revestimentos obtiveram êxito aumentando o tempo de ação dessa classe de antioxidantes.

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios de DPPH de pedúnculo de caju refrigerados sem revestimento (controle), pedúnculos com revestimento ativo de 1% de OE alecrim (tratamento 1) e pedúnculos revestidos com 2% (tratamento 2) de OE de alecrim durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Tabela 4 – Análise de DPPH de pedúnculo de caju sem revestimento (controle), pedúnculos com tratamento 1% de OEA (T1) e pedúnculo revestidos com 2 % de OEA (T2) durante a vida útil de 15 dias de armazenamento.

Período (Dias)	DPPH EC ₅₀ (mg.mL ⁻¹)		
	C	T1	T2
0	0,98 ^{bC} \pm 0,08	1,41 ^{aB} \pm 0,01	1,25 ^{aC} \pm 0,01
5	2,56 ^{aB} \pm 0,03	2,12 ^{aA} \pm 0,03	3,01 ^{aA} \pm 0,84
10	2,86 ^{aA} \pm 0,01	1,94 ^{cA} \pm 0,04	2,31 ^{bAB} \pm 0,06
15	2,65 ^{aB} \pm 0,00	0,18 ^{cC} \pm 0,10	1,52 ^{bAB} \pm 0,02

C = Controle (Sem o revestimento); T1 = Tratamento 1, (Com o revestimento com 1% de óleo essencial de alecrim); T2 = Tratamento 2 (Com o revestimento com 2% de óleo essencial de alecrim). Valores expressos como média \pm desvio padrão. Valores com letras diferentes na mesma linha apresentam diferença significativa ($p < 0,05$). Valores com letras diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa ($p < 0,05$).

O teor de DPPH EC₅₀ para o tratamento controle variou de 0,98 à 2,65 mg.mL⁻¹, no tratamento 1 variou de 1,41 à 0,18 mg.mL⁻¹, e no tratamento 2 de 1,25 à 1,52 mg.mL⁻¹.

Conhecido por se tratar de um método de determinação de ação antioxidante em insumos naturais, se baseando no sequestro do radical livre 2,2- difenil-1-picril- hidrazila ou DPPH, demonstrando ações à frente de espécies radiculares específicas ou antioxidantes. Dessa forma o DPPH sofre redução para a forma de difenil-picril-hidrazina passando da coloração púrpura para o amarelo, associada ao decaimento da absorbância em uma banda de 520 nm (37, 38, 39). Desde sua primeira aplicação até os dias atuais ele tem sofrido modificações como a utilização de diferentes solventes junto ao radical DPPH, diferenças nas concentrações do radical ou alíquota, assim como o tipo da mesma, mudanças significativas nos tempos de reação ou nas absorbâncias, o que dificulta a comparação como outros resultados pôr eles apresentarem protocolos que variam de acordo com as especificidades requeridas (40).

Desse modo, de forma a simplificar os resultados, os mesmos podem ser interpretados levando como base o equivalente que por sua vez inibe 50% do radical inicial de DPPH (CE₅₀) para uma melhor interpretação dos dados de DPPH (41). Assim foi possível observar certas variações entre os tempos de uma mesma amostra assim como diferenças entre amostras distintas, no caso das amostras controle e a T2, comportamentos de semelhança estatística foram observados, uma vez que ocorre picos nos valores atingidos no tempo 10 que é precedido por um leve queda se assemelhando aos valores antes relatados no tempo 5, dessa forma mantendo os valores constantes no intervalo que se deu entre os tempos 5 e 15 com destaque para a amostra T2 que por sua vez apresentou valores estatísticos menores logo com maior capacidade antioxidante.

Para a amostra T1 também foram relatados decaimentos nos valores, desta vez se iniciando no tempo 10 até o 15, o que demonstra um aumento linear na atividade antioxidante elencado ao menor valor encontrado no tempo 15 se diferenciando estatisticamente das amostras C e T2. Como tanto os tratamentos 1 quanto 2 obtiveram diferenças estatísticas menores que a amostra controle, logo com atividade antioxidante maior, podem ter ocorrido certas migrações de compostos do revestimento para o pedúnculo aumentando sua atividade antioxidante. Assim como relatado nos trabalhos de Durigan et. al. (42) e Zhang et. al. (43), os autores mencionam a melhora na composição de frutos que por sua vez, foram revestidos por algum tipo de revestimento bioativo, assim pressupondo a migração de compostos que passam a fazer parte do fruto, tais como os que apresentam na atividade antioxidante.

CONCLUSÕES

O óleo essencial de alecrim contém potencial preservativo quando aplicado em alimentos. Nesse contexto, nesse contexto observou-se que os tratamentos utilizados foram de extrema importância para a manutenção da capacidade antioxidante do pedúnculo do caju, destacando-se o tratamento 1, contendo 1% de óleo essencial de alecrim, que se mostrou bastante efetivo na manutenção da vitamina C, carotenoides, compostos fenólicos e na redução da liberação de radicais livres. Trazendo assim, uma alternativa na conservação do pedúnculo do caju, auxiliando na vida de prateleira dele.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - *Campus Sobral*.

REFERÊNCIAS

1. Caetano KS, Lopes NA, Costa TMH, Brandelli A, Rodrigues E, Flôres SH, Cladera-Olivera F. Characterization of active biodegradable films based on cassava starch and natural compounds. *Food Packag.* 2018;16:138-147.
2. Nisa I, Ashwar BA, Shah A, Gani A, Gani A, Masoodi FA. Development of potato starch based active packaging films loaded with antioxidants and its effect on shelf life of beef. *J Food Sci Technol.* 2015;52:7245–7253.
3. Piyada K, Waranyou S, Thawien, W. Mechanical, thermal and structural properties of rice starch films reinforced with rice starch nanocrystals. *Int Food Res J.* 2013;20(1):439-449.
4. Dick M, Costa TMH, Gomaa A, Subirade M, Rios, AO, Flôres, SH. Edible film production from chia seed mucilage: Effect of glycerol concentration on its physicochemical and mechanical properties. *Carbohydr Polym.* 2015;130: 198-205.
5. Küçük, GS, Çelik, ÖF, Mazi, BG, Türe, H. Evaluation of alginate and zein films as a carrier of natamycin to increase the shelf life of kashar cheese. *Packag Technol Sci.* 2020;33(1):39-48.
6. Da Rocha M, Alemán A, Romani, VP, López-Caballero ME, Gómez-Guillén MC, Montero P, Prentice C. Effects of agar films incorporated with fish protein hydrolysate or clove essential oil on flounder (*Paralichthys orbignyanus*) fillets shelf-life. *Food Hydrocoll.* 2018;81:351-363.
7. Wang H, Ding F, Ma L, Zhang Y. Edible films from chitosan-gelatin: Physical properties and food packaging application. *Food Biosci.* 2021;40:100871.
8. Nogueira GF, Fakhouri FM, de Oliveira, RA. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. *Carbohydr Polym.* 2018;186:64-72.
9. Schmid M, Reichert K, Hammann F, Stäbler A. Storage time-dependent alteration of molecular interaction–property relationships of whey protein isolate-based films and coatings. *J Mater Sci.* 2015;50(12):4396-4404.
10. Jiang Y, Lan W, Sameen DE, Ahmed S, Qin W, Zhang Q, Chen H, Dai J, He L, Liu Y. Preparation and characterization of grass carp collagen-chitosan-lemon essential oil composite films for application as food packaging. *Int J Biol Macromol.* 2020;160:340-351.
11. Ding C, Zhang M, Li G. Preparation and characterization of collagen/hydroxypropyl methylcellulose (HPMC) blend film. *Carbohydr Polym.* 2015;119:194-201.
12. Albert S, Mittal GS. Comparative evaluation of edible coatings to reduce fat uptake in a deep-fried cereal product. *Food Res Int.* 2002;35:445-458.
13. Pierro PD, Marquez GR, Mariniello L, Sorrentino A, Villalonga R, Porta R. Effect of Transglutaminase on the Mechanical and Barrier Properties of Whey Protein/Pectin Films Prepared at Complexation pH. *J Agric Food Chem.* 2013;61:4593-4598.

14. Marquez GR, Pierro PD, Mariniello L, Esposito M, Giosafatto CVL, Porta L. Fresh-cut fruit and vegetable coatings by transglutaminase-crosslinked whey protein/pectin edible films. *LWT - Food Sci Technol.* 2017;75:124-130.
15. Shan B, Cai YZ, Brooks JD, Corke H. Potential application of spice and herb extracts as natural preservatives in cheese. *J Med Food.* 2011;14(3):284-290.
16. Khorshidian N, Yousefi M, Khanniri E, Mortazavian AM. Potential application of essential oils as antimicrobial preservatives in cheese. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2018;45:62-72.
17. Bitu V, Botelho MA, Costa JGM, Rodrigues FFG, Veras HNH, Martins KT, Lyra, A, Coluchi GG, Ruela RS, Queiroz, DB, Siqueira JS, Quintans-Junior LJ. Phytochemical screening and antimicrobial activity of essential oil from *Lippia gracillis*. *Rev Bras Farmacogn.* 2012;22(1):69-75.
18. Albuquerque CC, Camara, TR, Mariano RLR, Willadino L, Marcelino Júnior, C, Ulisses C. Antimicrobial action of the essential oil of *Lippia gracilis* Schauer. *Braz Arch Biol Technol.* 2006;49(4):527-535.
19. Rocha GF, Cerqueira AS, Lima AS, Oliveira Júnior GM. Ação do óleo essencial de alecrim (*Lippia gracillis* Shauer) sobre a microbiota intestinal e o desempenho das aves. *Med Vet (UFRPE).* 2020;14(2):123-132.
20. Moura CFH, Figueiredo RWD, Alves RE, Silva EDO, Araújo PGLD, Maciel VT. Increasing shelf life of early dwarf cashew tree peduncle through reduction of storage temperature. *Ciênc Agrotec.* 2010;34:140-145.
21. Figueiredo RWD, Lajolo FM, Alves RE, Filgueiras HAC, Maia GA, Sousa PHMD. Qualidade de pedúnculos de caju submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e armazenados sob refrigeração. *Pesqui Agropecu Bras.* 2007;42:475-482.
22. Strohecker R, Henning, HM. *Análisis de Vitaminas: métodos comprobados.* Madrid: Paz Montalvo; 1967.
23. Rodriguez-Amaya DB. Changes in carotenoids during processing and storage of foods. *Arch Latinoam Nutr.* 199;49(3, Suppl 1);38S-47S.
24. Singleton WS, Gray MS, Brown ML, White JL. Chromatographically homogeneous lecithin from egg phospholipids. *J Am Oil Chem Soc.* 1965;42(1):53-56.
25. Mensor LL, Menezes FS, Leitão GG, Reis AS, Santos TCD, Coube CS, Leitão SG. Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytother Res.* 2001;15(2):127-130.
26. Onias EA, Teodosio AEMM, Bomfim MP, Rocha RHC, Lima JF, Medeiros MLS. Revestimento biodegradável à base de *Spirulina platensis* na conservação pós-colheita de

goiaba Paluma mantidas sob diferentes temperaturas de armazenamento. *Rev Ciênc Agrar.* 2018;41(3):849-860.

27. Hong K, Xie J, Zhang L, Sun D, Gong D. Effects of chitosan coating on postharvest life and quality of guava (*Psidium guajava* L.) fruit during cold storage. *Sci Hortic.* 2012;144:172-178.

28. Zepka LQ, Mercadante AZ. Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. *Food Chem.* 2009;117(1):28-34.

29. Coelho TLS, Silva, DSN, Júnior JMS, Dantas C, Nogueira ARA, Júnior CAL, Vieira EC. Multivariate optimization and comparison between conventional extraction (CE) and ultrasonic-assisted extraction (UAE) of carotenoid extraction from cashew apple. *Ultrason Sonochem.* 2022;84:105980

30. Teixé-Roig J, Oms-Oliu G, Odriozola-Serrano I, Martín-Belloso O. Enhancing in vivo retinol bioavailability by incorporating β -carotene from alga *Dunaliella salina* into nanoemulsions containing natural-based emulsifiers. *Food Res Int.* 2022;164:112359.

31. Ministério da Saúde (BR). Resolução nº 269, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (IDR) de proteína, vitaminas e minerais. *Diário Oficial União.*

32. Ennigrou A, Casabianca H, Laarif A, Hanchi B, Hosni K. Maturation-related changes in phytochemicals and biological activities of the Brazilian pepper tree (*Schinus terebinthifolius* Raddi) fruits. *S Afr J of Bot.* 2017;108:407-415.

33. Braga DC, Alves Filho EG, Ribeiro PRV, da Silva Araújo ÍM, de Brito ES, dos Santos Garruti D. Multivariate correlation of the astringency sensory perception with the phenolic profiling of cashew apple genotypes. *Food Biosci.* 2021;41:100931.

34. Nascimento MEN, Mendes JBG, Vasconcelos LV, Portela, MCC. Percepção dos consumidores de sobral sobre os alimentos funcionais [Internet]. In: I Simpósio Online Sulamericano de Tecnologia, Engenharia e Ciência de Alimentos. Diamantina; 2022 [acesso em 6 Jan 2023]. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/tecali2021/454343-percepcao-dos-consumidores-de-sobral-sobre-os-alimentos-funcionais/>







35. Alves MSO, Alves AM, Naves MMV. Compostos bioativos e atividade antioxidante de pseudofrutos de caju arbóreo do Cerrado. *Rev Inst Adolfo Lutz.* 2013;72(4):327-331.

36. Alrifai O, Hao X, Marcone MF, Tsao R. Current review of the modulatory effects of LED lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. *J Agric Food Chem.* 2019;67:6075.

37. Molyneux P. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *Songklanakarin J Sci Technol.* 2004;26(2):211-219.

38. Pisoschi AM, Pop A, Cimpeanu C, Pedroi G. Antioxidant capacity determination in plants and plant-derived products: a review. *Oxid Med Cell Longev*. 2016; 2016:9130976.
39. Oliveira L, Barcelos J, Oliveira SI, Rodrigues O, Oliveira T. Estudo da atividade antioxidante do extrato bruto hidroalcoólico do capim-cidreira (*Cymbopogon citratus*) pelo método DPPH. *Encic Biosf*. 2019;16(29):2034.
40. Oliveira GLS. Determinação da capacidade antioxidante de produtos naturais in vitro pelo método do DPPH: estudo de revisão. *Rev Bras Pl Med*. 2015;17:36-44.
41. Silva ELGS, Aguiar HTV, Freitas RF. Estudo fitoquímico, atividade antioxidante e tóxica da casca da *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Biodivers*. 2020;19(2):97-106.
42. Durigan MFB, Miguel ACA, Marques KM, Morgado CMA, Durigan JF. Efeito da radiação ultravioleta (uv-c) e do uso de revestimentos na atividade antioxidante de mangas "palmer" armazenadas a 5 °c, depois de transferidas à condição de ambiente [Internet]. In: 4º Simpósio brasileiro de pós-colheita de frutas, hortaliças e flores. Ribeirão Preto. 2013 [acesso em 09 jan 2023]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/85578/1/SBPCEPM-2013-uvc-e-revestimentos-na-ativ-antiox-de-mangas-Cris.pdf>
43. Zhang H, Jung J, Zhao Y. Preparation and characterization of cellulose nanocrystals films incorporated with essential oil loaded β -chitosan beads. *Food Hydrocol*. 2017;69:164-172.

PINHÃO-ROXO (*Jatropha gossypifolia*): UMA REVISÃO DE LITERATURA DOS USOS TRADICIONAIS, ATIVIDADE BIOLÓGICA E CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA

Paloma Andrade Santos Araujo *; Vinícius Araújo de Oliveira ; Marcio Michael Pontes ; Alexsandro Melquiades de Góis ; Gisele Nayara Bezerra da Silva ; Rosângela Estevão Alves Falcão 

*Paloma Andrade Santos Araujo – Email: paloma.andradea@upe.br

Resumo: O pinhão-roxo (*Jatropha gossypifolia*) é uma planta arbustiva da família Euphorbiaceae amplamente utilizada na medicina popular e rituais mágico-religiosos. Dentro das religiões de matriz africana é usada para purificar e benzer, na cultura popular geral é usada para afastar o mau-olhado. Medicinalmente na cultura popular é utilizada para o tratamento de inflamações, diabetes, picadas de cobra, anemias etc e é administrado de muitas formas como chás, banhos, uso tópico, maceração. Em relação às atividades biológicas, a planta possui um grande número de aplicações, a literatura descreve como pontos principais seus potenciais moluscicidas, antiofídico, antioxidante, antibiofilme, antimicrobiano, anti-inflamatório, cicatrizante, inseticida. A toxicidade de seus diferentes extratos foi avaliada em diferentes trabalhos e a fração cetônica foi a com a maior toxicidade, enquanto o extrato aquoso foi o que apresentou a menor toxicidade. Em relação a caracterização fitoquímica diversos autores detectaram a presença de flavonóides e fenólicos como compostos majoritários, foram detectados também catequinas, taninos, esteróides, terpenos e alcalóides. O presente trabalho busca identificar os diversos usos bioativos e populares da planta *J.gossypifolia*, bem como sua caracterização fitoquímica, de modo a atualizar, compilar e analisar os dados de pesquisas recentes de modo a estimular e facilitar pesquisas mais aprofundadas dentro dos temas abordados nesta presente revisão. Para tal se fez uso da plataforma de Periódicos da CAPES como ferramenta de pesquisa, levantamento e triagem dos artigos revisados.

Palavras-chave: *Jatropha gossypifolia*. Fitoquímica. Pinhão-roxo. Revisão de literatura.

Abstract: The black physicnut (*Jatropha gossypifolia*) is a bushy plant of the Euphorbiaceae family widely used in folk medicine and magical-religious rituals. Within African matrix religions it is used to purify and bless, in general popular culture it is used to ward off the evil eye. Medicinally, in popular culture, it is used to treat inflammation, diabetes, snake bites, anemia, etc. It is administered in many ways such as teas, baths, topical use, maceration, etc. Regarding biological activities, the plant has a large number of applications, the literature describes as its main points its potential molluscicide, antiophidian, antioxidant, antibiofilm, antimicrobial, anti-inflammatory, healing, insecticide. The toxicity of its different extracts was evaluated in different works and the ketone fraction was the one with the highest toxicity while the aqueous extract was the one with the lowest toxicity. Regarding the phytochemical characterization, several authors detected the presence of flavonoids and phenolics as major compounds, catechins, tannins, steroids, terpenes and alkaloids were also detected. The present work seeks to

identify the various bioactive and popular uses of the *J. gossypifolia* plant, as well as its phytochemical characterization, in order to update, compile and analyze recent research data in order to stimulate and facilitate more in-depth research within the topics covered in this present review. For this purpose, the CAPES Periodicals platform was used as a research, survey and screening tool for the reviewed articles.

Key Word: *Jatropha gossypifolia*. Phytochemistry. black physicnut. Literature review.

INTRODUÇÃO

O uso de plantas medicinais está enraizado na cultura humana desde de seu berço, no Antigo Egito, diversas plantas já foram utilizadas para tratamento de todo tipo de problemas seja espiritual ou físico. Algumas dessas plantas ainda são usadas na medicina popular contemporânea tais como; romã, erva-doce, salgueiro, lírio etc. (SILVA, 2017).

A família Euphorbiaceae é uma das mais ricas em espécies do planeta, principalmente em plantas de uso medicinal. No Brasil, está bem representada e dispersa, com cerca de 149 espécies de potencial medicinal distribuídas em 35 gêneros. Dentre os diversos gêneros, o *Jatropha* aparece em terceiro no número de exemplares, com nove espécies. (TRINDADE, LAMEIRA. 2014)

Esse gênero se destaca pelo seu valor etnofarmacológico e amplo uso popular das plantas pinhão-roxo (*Jatropha gossypifolia*) e pinhão-bravo (*Jatropha mollissima*), no nordeste brasileiro, seja em simpatias para espantar o mau olhado ou como *J. gossypifolia* sendo citada como remédio para “infarto e dor de cabeça”. (CREPALDI, 2016)

A *Jatropha gossypifolia*, popularmente conhecida com pinhão-roxo e planta alvo desse presente trabalho, tem os seguintes aspectos botânicos segundo LORENZI & MATOS, 2002 (apud QUEIROZ, 2019. p15):

“A espécie botânica *Jatropha gossypifolia* L. é descrita como um arbusto ou árvore de até 5 m, com ramos e folhas arroxeadas e pilosas quando jovens, com suco leitoso e acre (seiva). Possui folhas simples, lobadas, e flores arroxeadas, dispostas em cimeiras paniculadas e fruto do tipo cápsula”.

O presente trabalho visa apresentar uma revisão bibliográfica a respeito das atividades biológicas, usos tradicionais e características fitoquímicas da planta *Jatropha gossypifolia* na literatura. Tal revisão se faz necessária para a atualização e levantamento de conhecimentos farmacológicos e de compostos bioativos da planta em questão de modo a estimular estudos mais aprofundados das atividades biológicas dos compostos secundários da planta e suas aplicações.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada consistiu de revisão bibliográfica partindo da checklist proposta pelo PRISMA utilizando a base de dados da plataforma Periódicos CAPES.

Dois diferentes revisores fizeram o levantamento bibliográfico de forma paralela na base de dados citada, utilizando como descritor *Jatropha gossypifolia*. Foram encontrados 393 resultados; ao proceder o primeiro refinamento da pesquisa foi considerado os trabalhos mais atuais publicados entre 2012 e 2022, foram encontrados 312 resultados que atendiam este critério.

O segundo critério de filtragem considerou apenas artigos publicados em revistas, descartando teses, dissertações e resumos, como resultados foram reduzidos para aptos 86 artigos, cada revisor então procedeu selecionando os artigos que tratavam de atividades biológicas e/ou caracterização fitoquímica da planta. Dos quais o revisor 1 selecionou 39 trabalhos enquanto o revisor 2 selecionou 20 artigos. Um terceiro revisor, serviu como revisor cego e fez a comparação entre os resultados obtidos pelos outros dois revisores, selecionando os artigos que melhor de adequaram aos critérios selecionados para a leitura e revisão. Foram selecionados ao final 13 artigos para serem utilizados neste trabalho.

Três artigos foram escolhidos para avaliar os usos tradicionais da planta *J. gossypifolia* (tabela 1). Nove foram revisados para as atividades biológicas (tabela 2) e cinco foram revisados para caracterização fitoquímica (tabela 3).

Tabela 1 – Artigos que abordam os usos tradicionais de *Jatropha gossypifolia* revisados.

Número de identificação no texto	Título do artigo	Autor(es)	Ano de publicação	Revista onde o artigo foi publicado
1	Entre símbolos, mistérios e a cura: plantas místicas dos quintais de uma comunidade rural piauiense	Silva PH, Oliveira YR, Abreu MC	2018	Revista Gaia Scientia
2	Uso de plantas medicinais na Umbanda e Candomblé em associação cultural no município de Puxinanã, Paraíba	Arruda DA, Souza BD, Santos VG, Lima LA, Santos VG	2019	Revista Verde
3	<i>Jatropha gossypifolia</i> L. (Euphorbiaceae): a review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of this medicinal plant	Félix-Silva J, Giordani RB, Silva-Jr AA, Zucolotto SM, Fernandes-Pedrosa Mde	2014	Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine (eCAM)

Três artigos foram considerados aptos em pelo menos 2 dos 3 tópicos que formaram o problema de pesquisa uso tradicional, atividades biológicas e perfil fitoquímico, (, Félix-Silva et al (2014)(3) foi citado dentro dos três tópicos de pesquisa; Zengin et al (2021)(7) foi citado em atividades biológicas e caracterização fitoquímica; e Félix-Silva et al (2018)(9) foi citado nos temas atividades biológicas e caracterização fitoquímica.

Tabela 2 – artigos sobre as atividades biológicas de *Jatropha gossypifolia* revisados

Número de identificação no texto	Título	Autor(es)	Ano de publicação	Revista onde o artigo foi publicado
----------------------------------	--------	-----------	-------------------	-------------------------------------

- | | | | | |
|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------|--------------------------------------------------------------|
| 4 | Antibacterial and Antibiofilm Activity of Selected Medicinal Plant Leaf Extracts Against Pathogens Implicated in Poultry Disease | Olawuwo Famuyide McGaw LJ | OS, 2022 IM, | Frontiers in Veterinary Science |
| 5 | <i>Jatropha gossypifolia</i> L. and its biologically active metabolites: A mini review | Wu Q, Patocka J, Nepovimova E, Kuca K | 2019 | Journal of Ethnopharmacology |
| 3 | <i>Jatropha gossypifolia</i> L. (Euphorbiaceae): a review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of this medicinal plant | Félix-Silva J, Giordani RB, Silva-Jr AA, Zucolotto SM, Fernandes-Pedrosa Mde | 2014 | Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine (eCAM) |
| 6 | Evaluation of the molluscicidal potential of hydroalcoholic extracts of <i>Jatropha gossypifolia</i> Linnaeus, 1753 ON <i>Biomphalaria glabrata</i> (Say, 1818) | Pereira Filho AA, França CR, Oliveira Dda, Mendes RJ, Gonçalves Jde, Rosa IG | 2014 | Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo |
| 7 | Chemical Composition and Biological Properties of Two <i>Jatropha</i> Species: Different Parts and Different Extraction Methods | Zengin G, Mahomoodally MF, Sinan KI, Ak G, Etienne OK, Sharmeen JB, et al. | 2021 | Antioxidants |
| 8 | Aqueous Leaf Extract of <i>Jatropha gossypifolia</i> L. (Euphorbiaceae) Inhibits Enzymatic and Biological Actions of <i>Bothrops jararaca</i> Snake Venom | Félix-Silva J, Souza T, Menezes YA, Cabral B, Câmara RB, Silva-Junior AA, et al. | 2014 | PLOS ONE |

9	Comparison of two <i>Jatropha</i> species (Euphorbiaceae) used popularly to treat snakebites in Northeastern Brazil: Chemical profile, inhibitory activity against <i>Bothrops erythromelas</i> venom and antibacterial activity	Félix-Silva J, Gomes JAS, Fernandes JM, Moura AKC, Menezes YAS, Santos ECG, et al	2018	Journal of Ethnopharmacology
10	Evidências científicas acerca das atividades biológicas de uma planta nativa do Nordeste brasileiro – o pião roxo	Bastos ML	2019	Revista Enfermagem Atual In Derme
11	Cytotoxic, antimicrobial and healing activity of the <i>Jatropha gossypifolia</i> L extract	Silva PS, Lopes RF, Da Silva JC, Dos Santos WB, Santos Veríssimo RC, De Assis Bastos ML	2018	Revista de Enfermagem UFPE on line - REUOL

A cada artigo foi atribuído um número de identificação para facilitar a navegação pelo texto e evitar confusão entre autores de mesmo nome. O número será indicado entre parênteses () logo após a citação ao autor.

Tabela 3 – Artigos sobre caracterização fitoquímica dos compostos secundários de *Jatropha gossypifolia* revisados

Número de identificação no texto	Título do artigo	Autor(es)	Ano de publicação	Revista onde o artigo foi publicado
12	Development of an effective and safe topical anti-inflammatory gel containing <i>Jatropha gossypifolia</i> leaf extract: Results from a pre-clinical trial in mice	Xavier-Santos JB, Félix-Silva J, Passos JGR, Gomes JAS, Fernandes JM, Garcia VB, et al.	2018	Journal of Ethnopharmacology
3	<i>Jatropha gossypifolia</i> L. (Euphorbiaceae): a review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and	Félix-Silva J, Giordani RB, Silva Jr AA, Zucolotto SM, Fernandes-Pedrosa Mde	2014	Evidence-Based Complementary and Alternative

	toxicology of this medicinal plant			Medicine (eCAM)
13	Determination of phenolic and triterpenic compounds in <i>Jatropha gossypifolia</i> L by Ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric (UHPLC-MS/MS)	Silveira Rda, Leal GC, Molin TR, Faccin H, Gobo LA, Silveira GD, et al.	2020	Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences
7	Chemical Composition and Biological Properties of Two <i>Jatropha</i> Species: Different Parts and Different Extraction Methods	Zengin G, Mahomoodally MF, Sinan KI, Ak G, Etienne OK, Sharmeen JB, et al.	2021	Antioxidants
9	Comparison of two <i>Jatropha</i> species (Euphorbiaceae) used popularly to treat snakebites in Northeastern Brazil: Chemical profile, inhibitory activity against <i>Bothrops erythromelas</i> venom and antibacterial activity	Félix-Silva J, Gomes JAS, Fernandes JM, Moura AKC, Menezes YAS, Santos ECG, et al	2018	Journal of Ethnopharmacology

Todos os artigos supracitados evidenciam a importância da *J. gossypifolia* na medicina popular e no misticismo religioso. A partir de tantos relatos de usos medicinais da planta, se faz necessário estudos aprofundados de seus compostos bioativos para tentar explicar esses usos que possui na cultura popular.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

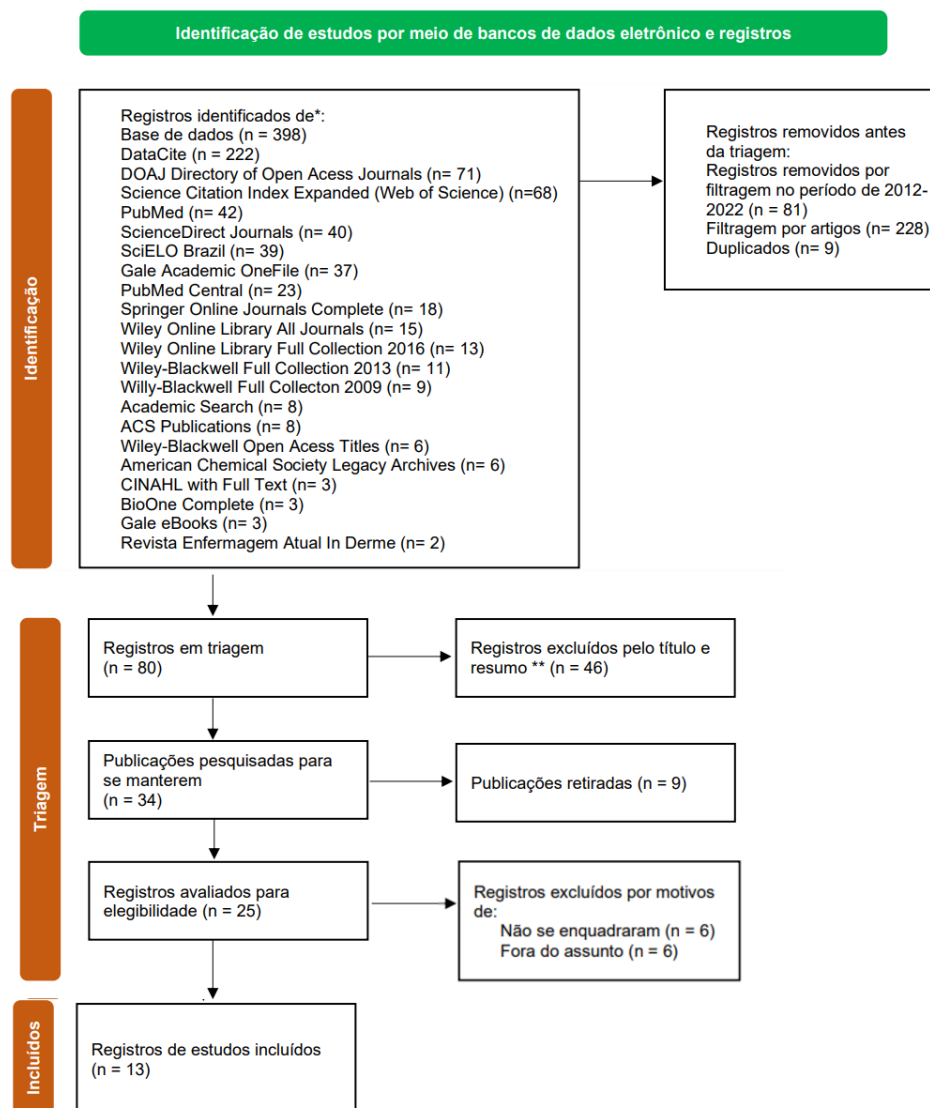
O processo de seleção dos artigos a serem analisados para este trabalho foi baseado em checklist utilizada com frequência nas revisões sistemáticas em particular aquelas com abordagem clínica, no entanto cada vez mais adaptações desta metodologia têm sido criadas para atender a outros tipos de revisões de literatura. As revisões sistemáticas possuem um delineamento por meio do qual se faz toda seleção dos materiais, sua análise e posterior síntese de achados primários e foi para atender a este processo específico que ferramentas como o PRISMA foi concebido.

A recomendação PRISMA consiste em um checklist com 27 itens e um fluxograma de 4 etapas que objetiva colaborar com autores a melhorarem o relato de revisões.

Utilizando a checklist proposta pelo PRISMA, foi feita a seguinte triagem como exposto na figura 1:

Figura 3 – fluxograma da checklist proposta pelo PRISMA

Diagrama de fluxo do PRISMA 2020 para novas revisões sistemáticas que incluíram pesquisas apenas em bancos de dados e registros



*Considere, se possível, relatar o número de registros identificados em cada banco de dados ou registro pesquisado (em vez do número total em todos os bancos de dados/registros).

**Se foram usadas ferramentas de automação, indique quantos registros foram excluídos por um humano e quantos foram excluídos por ferramentas de automação.

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

USO TRADICIONAL

O uso do pinhão-roxo está amplamente enraizado na cultura popular, seja medicinalmente ou de forma mística-religiosa, sendo utilizada em residências para “espantar o mau olhado, olho gordo” e outros tipos de males similares. A presença da *J.*

gossypiifolia nas casas é vista como um amuleto de bom presságio e proteção contra o mal. (SILVA; OLIVEIRA; ABREU, 2018) (1).

Ainda nesta perspectiva, religiões de matriz africana como candomblé e a umbanda utilizam a planta em banhos e benzeduras. Dentro dessas religiões se usa muito as raízes e folhas para os rituais característicos, sendo as raízes ainda mais utilizadas do que as folhas, para os praticantes a *Jatropha gossypiifolia* além de sagrada também é reconhecida como planta medicinal utilizada no tratamento de cicatrizes, hipertensão, inflamações entre outros usos. (ARRUDA et al, 2019) (2).

Félix-Silva et al (2014) (3), identifica a planta em relação a seus usos medicinais tradicionais, a *J. gossypiifolia* é conhecida pelo uso de diferentes métodos de preparo para uso: chás, decocção, maceração etc. Também foram identificadas diferentes vias de administração, podendo ser via oral, por banhos, uso tópico etc. Seus usos populares incluem: antiofídico, anti-inflamatório, anti-diarréico, antidiabético, anti-anêmico, analgésico e etc. Alguns desses usos podem ser contraditórios, existindo registros da planta sendo utilizada como laxante ao invés de antidiarréico, por exemplo.

Todos os artigos supracitados evidenciam a importância da *J. gossypiifolia* na medicina popular e no misticismo religioso. A partir de tantos relatos de usos medicinais da planta, se faz necessário estudos aprofundados de seus compostos bioativos para tentar explicar esses usos que possui na cultura popular.

ATIVIDADE BIOLÓGICA

As atividades biológicas de diferentes partes de *Jatropha gossypiifolia* já foram avaliadas por diferentes autores (tabela 4), que buscaram avaliar seus potenciais bioativos e possíveis usos na biotecnologia. Na literatura encontrada, as seguintes atividades foram avaliadas: citotoxicidade, potencial antimicrobiano, antibiofilme, antioxidante, antiinflamatória, hemolítica, cicatrizante, moluscicida e antiofídico.

Tabela 4: atividades biológicas e compostos secundários encontrados em *J. gossypiifolia*.

Número de identificação do trabalho	Atividades biológicas encontradas	Compostos secundários
3	Antimicrobiano, anti-inflamatório, anti-diarréico, anti-hipertensiva e anticâncer	Açúcares, flavonóides, alcalóides, taninos, terpenos, esteróides
4	Antimicrobiano, antibiofilme	-----
5	anti-inflamatória, antimicrobiana, analgésico, sedativo moluscicida, inseticida	-----

6	Moluscicida	-----
7	Antioxidante, antidiabéticos e anti-neurodegenerativo	Flavonóides e compostos fenólicos
8	Antiofídica, anti-edematogênica, anti-hemorrágica	-----
9	Antiofídica, antimicrobiana e antiedematogênica	Flavonóides, alcalóides, taninos, terpenos, esteróides, saponinas, fenólicos
10	Cicatrizante, anticoagulante, anti-inflamatória, antioxidante	-----
11	Antimicrobiano, cicatrizante, citotoxicidade	-----
12	-----	Flavonóides: luteolina e apigenina em destaque
13	-----	ácido gálico, ácido clorogênico, catequina, ácido cafeico, ácido vanílico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, rutina, quercitrina, 3-acetilcumarina, ácido trans-cinâmico, quercetina, luteolina, apigenina, kaempferol, crisina. α -amirina

Olawuwo et al (2022) (4), avaliou o potencial antimicrobiano e antibiofilme de extratos de diferentes plantas frente a microrganismos de aves de granja. Entre elas a *Jatropha Gossypifolia L*, apresentando os melhores resultados no teste antimicrobiano contra *Escherichia coli*, *Staphylococcus enteritidis* e *Staphylococcus aureus*. Teve boa ação contra os biofilmes, com inibição em >50%. Seu extrato cetônico foi o mais tóxico

quando comparado com as outras espécies de planta, seu extrato aquoso, no entanto, teve toxicidade moderada.

Wu et al (2019) (5) aponta para o uso farmacológico e popular de *J. gossypifolia*, encontrando atividades anti-inflamatória e antimicrobiana para o caule e raízes, enquanto as sementes e frutos podem ser usadas contra gripes como analgésico e sedativo. Seu látex possui propriedades moluscicidas e bactericidas, é usado popularmente para tratar picadas de serpentes, aplicando-o no local da picada. As folhas de *J. gossypifolia* possuem propriedades inseticidas, antimicrobianas e anti-inflamatórias.

Félix-Silva et al. (3) (2014), descreve diversas atividades farmacológicas de extratos e de compostos isolados de *Jatropha gossypifolia*, entre elas: antimicrobiana, anti-inflamatória, antidiarreica, anti-hipertensiva e anticâncer.

O potencial moluscicida foi descrito por Filho et al (2014) (6), que avaliou o potencial moluscicida do extrato hidroalcoólico de diferentes partes da planta (folhas, frutos e caule) frente ao molusco *Biomphalaria glabrata*, as folhas apresentam grande potencial moluscicida, seguida pelos frutos que também apresentaram, mas de maneira mais moderada, e pelo caule que não apresentou nenhuma atividade moluscicida.

Zengin et al (2021) (7) descreveu propriedades fitoquímicas e biológicas de diferentes partes (folha e caule) da *J. gossypifolia* com diferentes métodos de extração: maceração e homogeneização assistida. Os métodos de extração influenciaram na quantidade de compostos antioxidantes extraídos, com o extrato do caule extraído por homogeneização assistida sendo muito mais rico em compostos antioxidantes em comparação com o extrato da folha extraído usando o mesmo método. O artigo também descreve potenciais antidiabéticos e anti-neurodegenerativos da planta.

Félix-Silva et al (2014) (8) descrevem em seu trabalho as capacidades antiofídicas do extrato aquoso das folhas de *J. gossypifolia*. Os autores utilizaram testes de citotoxicidade frente a células humanas HEK-293 e de atividade hemolítica para determinar a toxicidade do extrato aquoso, e obtiveram resultados que indicam a não toxicidade do extrato. Para o teste antiofídico, foram utilizados testes de inibição *in vitro* de atividade proteolítica das enzimas do veneno de *Bothrops jararaca*. O extrato apresentou inibição satisfatória da ação proteolítica em azocaseína. O segundo teste utilizado para determinar a efetividade do extrato frente a peçonha de *B. jararaca* foi o de inibição da atividade fibrinogenolítica *in vitro*, concentrações mais altas do extrato conseguiram diminuir a degradação de fibrinogênio. Os testes *in vivo* feitos utilizando camundongos mostraram a inibição da hemorragia, miotoxicidade e formação de edemas, o extrato foi administrado nos camundongos via intraperitoneal e oral.

Félix-Silva et al (2018) (9) em seu estudo testou o potencial anti-edematogênico de extrato aquoso de *J. gossypifolia* frente ao veneno de *Bothrops erythromelas* e a atividade antibacteriana da planta. O extrato quando administrado por via oral apresentou inibição edematogênica de cerca de 50%, por via intraperitoneal, no entanto, o extrato apresentou inibição de 76,4%, sendo um aumento significativamente maior até do que o nível de inibição do medicamento corticosteroide dexametasona.

A atividade antibacteriana foi avaliada pelo método de diluição em ágar. Os microrganismos gram-positivos utilizados foram *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Enterococcus faecalis*, e *Bacillus cereus*. Os Gram-negativos foram: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* e *Enterobacter cloacae*. O extrato de *J. gossypifolia* apresentou atividade antibacteriana em *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus cereus*. Todos microrganismos gram-positivos.

Bastos (2019) (10) realizou um levantamento das atividades biológicas mais estudadas de *J. gossypifolia*, ao analisar 16 artigos concluiu que as seguintes atividades biológicas foram as mais pesquisadas: atóxica, cicatrizante, anti-inflamatória, cicatrizante/anti-inflamatória, cicatrizante/tóxica e anticoagulante, antioxidante e tóxica nessa mesma ordem.

Silva et al (2018) (11), analisou o potencial citotóxico, antimicrobiano e cicatrizante do extrato etanólico e suas frações hexânica, clorofórmio, acetato de etila e metanólica das folhas, galhos e caule *J. gossypifolia*. A citotoxicidade dos galhos foi muito alta e por isso inviabilizou o uso de suas frações para os testes antimicrobiano e cicatrizante. O extrato do caule e suas frações apresentaram toxicidade entre leve a não tóxica. E o extrato das folhas e suas frações apresentaram resultados de citotoxicidade moderadamente tóxicos. Dentre os microrganismos gram-positivos *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, e gram-negativos *Escherichia coli* e *Pseudomonas aeruginosa*, o extrato apenas não apresentou inibição frente a *Escherichia coli*. Em relação ao potencial cicatrizante, apenas a fração metanólica das folhas apresentou migração celular (46%).

Pela análise desses trabalhos é possível perceber que a *Jatropha gossypifolia* possui um amplo leque de atividades biológicas registradas. Sendo necessário estudos mais aprofundados para aplicação farmacológica e desenvolvimento de medicamentos ou tratamentos com a planta, levando em consideração a toxicidade apresentada por alguns dos extratos da planta.

CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA

Por meio da técnica HPLC-DAD, Xavier-Santos et al (2018) (12), analisou as propriedades fitoquímicas do extrato aquoso da folha da *Jatropha Gossypifolia* e encontrou flavonóides C-glicosilados derivados da luteolina e da apigenina.

Félix-Silva et al (2014) (3) realizou análise fitoquímica sob pinhão-roxo e seu estudo revelou a presença de açúcares, alcalóides, flavonóides, taninos, terpenos e/ou esteróides e proteínas.

Silveira et al (2020) (13) encontrou e quantificou os seguintes compostos no extrato de *J. gossypifolia*: ácido gálico, ácido clorogênico, catequina, ácido cafeico, ácido vanílico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, rutina, quercitrina, 3-acetilcumarina, ácido trans-cinâmico, quercetina, luteolina, apigenina, kaempferol, crisina. α -amirina, β -amirina e lupeol. Sendo encontrados em maior quantidade os compostos, (+)-catequina, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, luteolina, α -amirina e β -amirina

Zengin et al (2021) (7) descreve em seu trabalho a composição química de *J. gossypifolia* e destaca a quantidade de flavonoides e fenólicos encontrados, fazendo em comparação entre o caule e as folhas da planta, 78 compostos foram encontrados no extrato da folha e 64 no extrato do caule.

Félix-Silva et al (2018) (9) encontrou flavonóides como compostos majoritários da planta, também encontrou alcalóides, fenólicos, taninos, terpenos, esteróides e saponinas. Sendo os flavonóides encontrados os seguintes: luteolina, orientina e isoorientina, vitexina e isovitexina.

Os principais compostos da planta *J. gossypifolia* foram identificados como sendo os da classe dos flavonóides e dos fenólicos, como a luteolina, apigenina, crisina, rutina entre outros. Também identificaram como compostos presentes na planta os seguintes: taninos, terpenos, alcalóides, açúcares, esteróides, saponinas, catequinas entre outros. (ver tabela 4)

CONCLUSÕES

O pinhão-roxo ou *J. gossypifolia* possui grande importância na cultura popular do Brasil, seja como amuleto religioso ou como planta medicinal. Na medicina popular é uma planta conhecida por supostamente possuir efeitos anti-inflamatórios, antiofídicos, antidiabéticos, antianêmicos entre outros. Os artigos revisados mostraram uma vasta gama de aplicações biológicas para seus extratos, ficando em destaque as seguintes: moluscicida, antiofídico, antioxidante, antibiofilme, antimicrobiano, anti-inflamatório, cicatrizante, inseticida. Esses resultados sugerem credibilidade dos conhecimentos populares descritos.

A caracterização fitoquímica da planta mostrou compostos fenólicos e flavonóides como os principais compostos secundários da planta, com destaque para a apigenina e luteolina. Também foram encontrados taninos, alcalóides, terpenos e esteróides.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento à pesquisa científica: Facepe, CNPq.

REFERÊNCIAS

- Silva, BL. A medicina egípcia e a influência das crenças religiosas no tratamento terapêutico no antigo egito. In: anais do 4º encontro internacional de jovens investigadores. 2017 set.12-14. Fortaleza, Brasil. Editora Realize.2017. p. 1-8.
- Trindade, M J S, e Lameira O A. “Espécies Úteis Da Família Euphorbiaceae No Brasil.” *Rev Cubana Plant Med*, vol. 19, no. 4, 2014, pp. 292–309.
- Crepaldi CG, Campos JLA, Albuquerque UP, Sales MF. Richness and ethnobotany of the family Euphorbiaceae in a tropical semiarid landscape of Northeastern Brazil. *South African Journal of Botany*. 2016;102:157–65.
- LORENZI, H.; MATOS, F.J.A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.
- Queiroz ACM. Ocorrência urbana de plantas medicinais em Ituiutaba [monografia]. Ituiutaba. Instituto de ciências exatas e naturais do Pontal da Universidade Federal de Uberlândia; 2019
- Silva PH, Oliveira YR, Abreu MC. Entre Símbolos, mistérios e a cura: Plantas Místicas dos Quintais de Uma Comunidade Rural Piauiense. *Gaia Scientia*. 2018;12(1):1–16.
- Arruda DA, Souza BD, Santos VG, Lima LA, Santos VG. Uso de Plantas medicinais na umbanda e candomblé em associação cultural no município de puxinanã, Paraíba. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*. 2019;14(5):692–6.

Félix-Silva J, Giordani RB, Silva-Jr AA, Zucolotto SM, Fernandes-Pedrosa Mde. *Jatropha gossypifolia*L. (Euphorbiaceae): A review of traditional uses, phytochemistry, pharmacology, and toxicology of this medicinal plant. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2014Jun5;2014:1–32.

Olawuwo OS, Famuyide IM, McGaw LJ. Antibacterial and antibiofilm activity of selected medicinal plant leaf extracts against pathogens implicated in poultry diseases. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;9.

Wu Q, Patocka J, Nepovimova E, Kuca K. *Jatropha gossypifolia* L. and its biologically active metabolites: A mini review. *Journal of Ethnopharmacology*. 2019;234:197–203.

Pereira Filho AA, França CR, Oliveira Dda, Mendes RJ, Gonçalves Jde, Rosa IG. Evaluation of the molluscicidal potential of hydroalcoholic extracts of *Jatropha gossypifolia* Linnaeus, 1753 on *Biomphalaria glabrata* (say, 1818). *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*. 2014;56(6):505–10.

Zengin G, Mahomoodally MF, Sinan KI, Ak G, Etienne OK, Sharmeen JB, et al. Chemical composition and biological properties of two *Jatropha* species: Different parts and different extraction methods. *Antioxidants*. 2021;10(5):792.

Félix-Silva J, Gomes JAS, Fernandes JM, Moura AKC, Menezes YAS, Santos ECG, et al. Comparison of two *Jatropha* species (Euphorbiaceae) used popularly to treat snakebites in northeastern Brazil: Chemical profile, inhibitory activity against *Bothrops erythromelas* venom and antibacterial activity. *Journal of Ethnopharmacology*. 2018;213:12–20.

Félix-Silva J, Souza T, Menezes YA, Cabral B, Câmara RB, Silva-Junior AA, et al. Aqueous leaf extract of *Jatropha gossypifolia* L. (Euphorbiaceae) inhibits enzymatic and biological actions of *Bothrops jararaca* snake venom. *PLoS ONE*. 2014;9(8).

Bastos ML. Evidências Científicas Acerca das Atividades Biológicas de Uma Planta Nativa do Nordeste Brasileiro – O Pião Roxo. *Revista Enfermagem Atual In Derme*. 2019;87(25).

Silva PS, Lopes RF, Da Silva JC, Dos Santos WB, Santos Veríssimo RC, De Assis Bastos ML. Cytotoxic, antimicrobial and healing activity of the *Jatropha gossypifolia* L extract. *Revista de Enfermagem UFPE on line*. 2018;12(2):465.

Xavier-Santos JB, Félix-Silva J, Passos JGR, Gomes JAS, Fernandes JM, Garcia VB, et al. Development of an effective and safe topical anti-inflammatory gel containing *Jatropha gossypifolia* leaf extract: Results from a pre-clinical trial in mice. *Journal of Ethnopharmacology*. 2018;227:268–78.

Silveira Rda, Leal GC, Molin TR, Faccin H, Gobo LA, Silveira GD, et al. Determination of phenolic and triterpenic compounds in *Jatropha gossypifolia* L by ultra-high performance liquid chromatography-tandem mass spectrometric (UHPLC-MS/ms). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2020;56.

GÊNERO *ERYTHROXYLUM*: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA COM ENFOQUE NA FARMACOLOGIA DE PRODUTOS NATURAIS

Maísa Fernanda dos Santos Barbosa¹ ; Carlos André de Souza² *; Paulo Henrique de Oliveira Miranda¹ ; Rogério de Aquino Saraiva³ 

¹Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

²Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE

³Universidade Federal do Cariri – UFCA

*Autor correspondente (Corresponding author) –E-mail: carlos.andre@ufrpe.br

Resumo: Este capítulo consiste numa revisão sistemática sobre o potencial do gênero *Erythroxylum* P. Browne para a terapêutica moderna, visto que as últimas já se encontram ultrapassadas. Descrevemos as atividades farmacológicas investigadas nos últimos anos, fornecendo boas pistas para os pesquisadores em produtos naturais que buscam moléculas bioativas pelo critério da quimiosistemática.

Palavras-chave: Produtos Naturais, metabólitos bioativos, quimiosistemática, Farmacognosia.

Abstract: This chapter consists of a systematic review on the potential of the genus *Erythroxylum* P. Browne for modern therapeutics, since the latter are already outdated. We describe the pharmacological activities investigated in recent years, providing good leads for researchers in natural products who look for bioactive molecules by the criteria of chemosystematics.

Key Word: Natural products, bioactive metabolites, chemosystematics, Pharmacognosy.

INTRODUÇÃO

O gênero *Erythroxylum* P. Browne possui distribuição pantropical. As espécies deste *taxa* possuem uma variedade de alcaloides tropânicos que se destacaram como candidatos a fármacos [1]. Muitos estudos demonstram o potencial bioativo destas moléculas, assim como também de flavonoides e terpenoides provindos do gênero [2].

A cocaína é o exemplo mais conhecido de alcaloide extraído de *Erythroxylum coca*, planta utilizada como terapêutica na medicina popular (e durante muito tempo na clássica também). Ela se transformou em um sério problema de saúde pública, pois causa dependência química devido a sua ação simpaticomimética indireta, bloqueia o transportador pré-sináptico de dopamina, aumentando os níveis de dopamina, serotonina e noradrenalina, intimamente relacionadas com o mecanismo de recompensa e adição [3]. Obviamente, estes afeitos só foram descobertos após a sua ampla utilização. Este evento

é um dos muitos que serviram de alerta para toda a comunidade da farmacologia, que passou a ter uma maior preocupação com os efeitos toxicológicos das plantas utilizadas.

Durante muito tempo a indústria farmacêutica explorou a diversidade de moléculas fornecidas pelos organismos vivos, mas apenas em 2003 ela foi apresentada para a comunidade científica como a quarta fonte de biodiversidade, a biodiversidade molecular, que pode ser definida como a riqueza de moléculas encontrada na vida. Conhecer essa diversidade é o elemento chave para a implantação de estratégias de uso sustentável desse recurso, não apenas no que diz respeito às moléculas de interesse para a indústria farmacêutica, mas para toda e qualquer atividade que faça uso das biomoléculas, visto que elas são fundamentais para a sobrevivência e evolução das espécies, filões e ecossistemas [4]. As taxas de extinção também estão relacionadas com a diversidade molecular e as variações ambientais. Quanto menor a diversidade de moléculas e quimiotipos, maior a probabilidade de extinção em condições adversas [5]. Diante do exposto, atualmente é exigido dos pesquisadores que exploram este recurso um maior envolvimento em todas as questões que o permeiam, não apenas com foco em sua utilização, mas também em sua conservação, isto é, um uso sustentável desta quimiodiversidade.

O presente estudo consistiu em uma pesquisa exploratória nas plataformas “Web of Science”, PubChem”, “PubMed” e “Scholar Google”. Foi realizado um levantamento dos artigos sobre o potencial terapêutico dos produtos extraídos das espécies deste gênero. Após este levantamento, foi realizada a triagem dos artigos, onde foram escolhidas as publicações mais recentes e relevantes a este estudo e, por fim, a compilação dos resultados.

FITOQUÍMICA DO GÊNERO

De acordo com os estudos realizados, os alcaloides tropânicos são os principais metabólitos secundários encontrados no gênero *Erythroxylum*. Embora eles sejam a maioria, alguns autores não detectaram a presença desses compostos em determinadas espécies, como por exemplo o estudo de Negri *et al.* (2016) com *E. vaccinifolium*, apesar de ter sido relatada a presença destes em outro estudo com a mesma espécie feito por Zanolari *et al.* (2003). Negri *et al.* (2016) argumentam que as condições utilizadas poderiam não ter sido adequadas para a extração de alcaloides tropânicos, como as condições de pH por exemplo, logo, é necessário que se tenha em mente a finalidade do estudo antes de escolher a melhor metodologia de extração [6,7].

Uma revisão de Oliveira *et al.* (2010) faz uma compilação do conhecimento sobre os dados espectrais de ¹³C-NMR de 186 alcalóides tropânicos, distribuídos em 35 espécies do gênero *Erythroxylum*, informações que podem orientar os estudos para a detecção destas moléculas, visto que a estrutura molecular de muitos dos alcaloides isolados ainda não foi totalmente elucidada [8].

Conhecer estas moléculas é o caminho para compreender a evolução das espécies desta família, a biossíntese dessas estruturas e, principalmente, como elas interagem com os componentes abióticos e bióticos do ecossistema [5]. Não existe nenhum estudo com espécies desta família que aborde o valor adaptativo destas moléculas e como elas interagem com o ambiente, embora esta seja a melhor forma de traçar estratégias de conservação para o uso seguro deste recurso. Os estudos ecológicos que abordam estas interações com o ambiente ainda são raros.

Múltiplas variáveis, bióticas e abióticas, produzem respostas adaptativas na produção dos metabólitos pela planta, como herbivoria, radiação, disponibilidade de

água, entre outras. Membros de uma mesma espécie podem se diferenciar em quimiotipos, produzindo moléculas distintas que são o ponto chave dos eventos de especiação, pois conferem as diferenças adaptativas sobre as quais a seleção natural atua formando novas espécies. As taxas de extinção também estão relacionadas com a diversidade molecular e as variações ambientais. Quanto menor a diversidade de moléculas e quimiotipos, maior a probabilidade de extinção em condições adversas [5].

A biossíntese de alguns metabólitos secundários pode ser restrita a uma única família, a um gênero ou a uma única espécie. Esses metabólitos são inclusive muito utilizados na quimiotaxonomia, porque refletem a filogenia do grupo [9,4]. Griffin e Lin (2000) discutem a quimiotaxonomia dos alcaloides tropânicos de Erythroxylaceae e descrevem a sua distribuição geográfica. O estudo também inclui as famílias Solanaceae, Proteaceae, Euphorbiaceae, Rhizophoraceae, Convolvulaceae e Cruciferaceae [10]. Posteriormente, Simone *et al.* (2008) também fez uma revisão sobre os alcaloides tropânicos nestas mesmas famílias e ainda inclui Moraceae [11].

Todos estes estudos sobre os alcaloides não são em vão, eles refletem o quão são complexas essas vias biossintéticas e, por isto, são tão difíceis de prever parentescos. Além disso, a seleção natural pode utilizar fontes distintas para produzir moléculas com estrutura e ações biológicas similares. No estudo de Jirschitzka *et al.* (2012), por exemplo, há evidências de que os alcaloides tropânicos evoluíram de forma independente nas famílias Erythroxylaceae e Solanaceae, um caso curioso de evolução convergente [12]. Todavia, as origens filogenéticas dos alcaloides tropânicos no gênero *Erythroxylum* aparentemente são as mesmas. Ainda é cedo para afirmar, mas algumas evidências suportam o conceito de etapas biossintéticas comuns, como a ocorrência simultânea de uma estrutura de 3 α -hidroxi ou 3 β -hidroxitropano, calisteínas, cocaína, outros alcaloides e nicotina [13].

Apesar dos pontos positivos acerca dos diversos estudos envolvendo alcaloides tropânicos, como por exemplo o desenvolvimento de técnicas cada vez mais elaboradas para a extração e a descoberta de novas entidades químicas, existe pouco interesse pela elucidação estrutural de outras classes de moléculas. Isso é preocupante, pois as estruturas moleculares da maioria dos metabólitos secundários desta família seguem desconhecidas. Os flavonoides por exemplo, são essenciais para a filogenia do gênero, visto que a quercetina e o campferol, assim como seus derivados 3-glicosídeos são características marcantes no gênero, sendo inclusive utilizados na taxonomia [14,15].

Concluindo, as espécies deste *taxon* possuem uma vasta biodiversidade molecular, contudo ela está subestimada porque a maioria (das mais de 240 espécies do gênero) continua com sua constituição química desconhecida. Portanto, ainda são necessários muitos estudos fitoquímicos, inclusive os que considerem aspectos ecológicos e investiguem o papel destas moléculas nos ecossistemas naturais, visto que os diferentes ambientes podem impor pressões seletivas que implicam em moléculas estrutural e/ou funcionalmente distintas e, pelo processo de seleção natural, podem resultar em eventos de extinções ou especiações.

POTENCIAL TERAPÊUTICO

Diversos ensaios *in vitro* e *in vivo* demonstraram a atividade biológica de certas espécies (Tabela 1), mas na maioria não foram identificadas as moléculas responsáveis por tais atividades. Além disso, nenhum estudo abordou a possível ação sinérgica com outras substâncias. Entre as espécies investigadas os resultados foram animadores no ramo da terapêutica moderna, sendo os seus alcaloides tropânicos os agentes principais

nesse processo. Cordell (2001) faz uma síntese de como estas moléculas são utilizadas na fabricação de medicamentos [1].

Tabela 1: Atividades terapêuticas investigadas em produtos naturais provindos de espécies de *Erythroxylum*.

Espécie	Atividade investigada	Substâncias e/ou moléculas testadas	Referência
<i>Erythroxylum alaternifolium</i> A. Rich.	Citotóxica e antiviral	Extrato hidroalcoólico das folhas.	[16]
	Antioxidante	Extratos hexânico, clorofórmico, acetate de etila e butanólico das folhas.	[17]
<i>Erythroxylum anguifugum</i>	Anticancer	Extrato bruto da casca do caule.	[18]
<i>Erythroxylum areolatum</i> Linn.	Citotóxica e antiviral	Extrato hidroalcoólico das folhas.	[16]
<i>Erythroxylum caatingae</i> Plowman	Antimicrobiana	Extrato metanólico do caule, suas frações e dois alcaloides isolados.	[19]
	Citotóxica	Extrato metanólico do caule e um alcaloide isolado, a Catuabina B.	[20]
	Antitumoral	Extrato metanólico do caule.	[20]
	Anti-hipertensiva	Extrato metanólico das folhas.	[21]
	Antinociceptiva	Extrato metanólico das folhas. Extrato etanólico das folhas.	[22]
	Relaxante		[23]
<i>Erythroxylum confusum</i> Britt.	Citotóxica e antiviral	Extrato hidroalcoólico das folhas.	[16]
	Citotóxica	Extratos das folhas (Infusão, decocção e hidroalcoólico) e duas frações (acetato de etila e o seu resíduo).	[24]
	Hepatoprotetora	Extratos hexânico e hidroetanólico das folhas.	[25]
<i>Erythroxylum daphnites</i>	Anticancer	Extrato bruto da casca do caule.	[18]
	Antioxidante	Extratos aquosos, hexânicos e etanólicos das folhas em diferentes épocas do ano.	[26]

	Antimicrobiana	Extratos hexânico, aquoso (e suas frações metanólica e acetônica) e etanólico (e suas frações aquosa, hexânica e acetato de etila).	[27]
<i>Erythroxylum deciduum</i>	Antiviral	Extrato aquoso das folhas.	[28]
<i>Erythroxylum delagoense</i> Schinz	Antibacteriana	Extractos de acetona, metanol e água quente de folhas e cascas.	[29]
<i>Erythroxylum emarginatum</i> Thonn	Antibacteriana	Extractos de acetona, metanol e água quente de folhas e cascas.	[29]
<i>Erythroxylum gonocladum</i>	Anti-hipertensiva	Extrato etanólico das folhas.	[30]
	Antiinflamatória	Extrato etanólico bruto e suas frações (hidrometanólica, hexânica, diclorometanica e acetate de etila).	[31]
<i>Erythroxylum havanense</i> Jacq.	Citotóxica e Antiviral	Extrato hidroalcoólico das folhas.	[16]
<i>Erythroxylum hypericifolium</i> Lam.	Antioxidante e sequestradora de radicais livres	Extratos de metanol e diclorometano de folhas e caules (em conjunto).	[32]
	Inibidora da α -amilase e da α -glucosidase.	Extratos metanólico e aquoso.	[33]
<i>Erythroxylum macrocarpum</i>	Antimicrobiana	Extrato metanólico das folhas e galhos.	[34]
<i>Erythroxylum minutifolium</i>	Antigenotóxica	Extrato etanólico das folhas.	[35]
	Antibacteriana	Extrato etanólico dos frutos.	[36]
	Hepatoprotetora	Extratos hexânico e hidroetanólico das folhas.	[25]
<i>Erythroxylum mucronatum</i> (Benth.)	Desempenho e resistência muscular	Extrato etanólico das folhas.	[37]
<i>Erythroxylum novogranatense</i> var. <i>truxillense</i>	Antibacteriana	Compostos fenólicos: catequina, epicatequina e glicosídeo de quercetina. Extrato hidroalcoólico das folhas.	[38]
	Antibacteriana	Extratos aquoso e etanólico das folhas.	[39]
<i>Erythroxylum nummularia</i>	Antioxidante	Substâncias Isoladas das folhas	[40]
<i>Erythroxylum passerinum</i>	Citotóxica em células astrocíticas.	Dois terpenos isolados do fruto: AEP-1 e Lupeol.	[41]

<i>Erythroxylum pictum</i>	Antibacteriana	Extratos de água quente, acetone e metanol das folhas e cascas.	[29]
<i>Erythroxylum pungens</i> O.E. Schulz	Vasorelaxante	Extrato das raízes e seu principal alcalóide tropânico, a pungencina.	[20]
	Citotóxica	Extrato das folhas, raízes, tronco, tendo como componentes principais alcalóide tropânico, e outro derivado de anel indólico.	[42]
<i>Erythroxylum revolutum</i> Mart.	Antibacteriana	Frações das folhas em acetato de etila enriquecidas com alcalóides tropânicos associados com antibióticos.	[43]
<i>Erythroxylum rimosum</i>	Antioxidante e Tóxica	Frações do extrato metanólico das folhas (hexânica, clorofórmica e acetato de etila).	[44]
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.Hil	Antimicrobiana e Citotóxica	Extrato etanólico da casca do caule e suas frações.	[45]
	Inibidora das catepsinas K, L e V (envolvidas no desenvolvimento de osteoporose, câncer de pele e aterosclerose, respectivamente).	Extratos etanólicos das folhas, caules e raíz, suas frações e o flavonóide quercetina.	[46]
	Anti-hipertensiva	Extrato etanólico das folhas.	[30]
<i>Erythroxylum subrotundum</i>	Antiinflamatória	Extrato etanólico bruto e suas frações (hidrometanólica, hexânica, diclorometanica e acetate de etila).	[31]
	Citotóxica	Extratos aquoso, etanólico e hexânico das folhas. Foram analisadas também as frações acetate de etila e hexano:acetato de etila do hexânico.	[47]
<i>Erythroxylum tortuosum</i>	Antimicrobiana	Extratos aquoso, hexânico e etanólico das folhas.	[27]
	Anti-hipertensiva	Extrato etanólico das folhas.	[30]
	Antiinflamatória	Extrato etanólico bruto e suas frações (hidrometanólica, hexânica, diclorometanica e acetate de etila).	[31]

CONCLUSÕES

O gênero demonstra um alto potencial para a indústria farmacêutica, uma vez que possui uma grande diversidade de metabólitos que se demonstraram bioativos contra diversas enfermidades. Para atender as demandas industriais sem prejudicar a capacidade de sobrevivência da espécie no ecossistema, são necessários conhecimentos acerca do rendimento do processo de extração do produto natural e, principalmente, sobre o metabolismo da espécie em questão, reprodução, dinâmica populacional e relações ecológicas. Logo, o potencial terapêutico das espécies deste gênero é inegável, mas a utilização pela indústria farmacêutica deve seguir planos de manejo específicos.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão de bolsa de doutorado.

REFERÊNCIAS

1. Cordell GA, Quinn-Beattie ML, Fransworth NR. The potential of alkaloids in drug discovery. *Phytother. Res.* 2001; 15:183–205.
2. González-García K, González-Lavaut JA, González-Guevara J, Prieto-González S. Género *Erythroxylum*: análisis de la información científica. *Acta Farm. Bonaer.* 2005; 24:284-290.
3. Urigüen L, Callado LF. Cocaína y cerebro. *Trastornos Adictivos.* 2010; 12:129-134.
4. Campbell AK. Save those molecules! Molecular biodiversity and life. *J. Appl Ecol.* 2003; 40:193-203.
5. Wink M. Evolution of secondary metabolites from an ecological and molecular phylogenetic perspective. *Phytochemistry.* 2003; 64:3-19.
6. Negri G, Almondes JGS, Galvão SMP, Duarte-Almeida JM, Cavalcanti PMS. Avaliação da composição química e efeitos toxicológicos de extratos etanólicos de casca e folhas de *Erythroxylum vacciniifolium* em modelos *in vivo*. *Rev. Ciênc. Saúde.* 2016; 1:17-31.
7. Zanolari B, Wolfender J-L, Guilet D, Marston A, Queiroz EF, Paulo MQ, et. al. On-line identification of tropane alkaloids from *Erythroxylum vacciniifolium* by liquid chromatography-UV detection-multiple mass spectrometry and liquid chromatography-nuclear magnetic resonance spectrometry. *J. Chromatogr., A.* 2003; 1020:75-89.
8. Oliveira SL., da Silva MS, Tavares JF, Sena-Filho JG, Lucena HFS, Romero MAV, et al. Tropane alkaloids from *Erythroxylum* genus: distribution and compilation of ¹³C-NMR spectral data. *Chem. Biodiversity.* 2010; 7:302-326.
9. Berkov S, Mutafova B, Christen P. Molecular biodiversity and recent analytical developments: a marriage of convenience. *Biotechnol. Adv.* 2014; 32:1102-1110.

10. Griffin WJ, Lin GD. Chemotaxonomy and geographical distribution of tropane alkaloids. *Phytochemistry*. 2000; 53:623-637.
11. De Simone R, Margarucci L, de Feo V. Tropane alkaloids: an overview. *Pharmacology online*. 2008; 1:70-89.
12. Jirschitzka J, Schmidt GW, Reichelt M, Schneider B, Gershenzon J, D'Auria JC. Plant tropane alkaloid biosynthesis evolved independently in the Solanaceae and Erythroxylaceae. *PNAS*. 2012; 109:10304-10309.
13. Brock A, Bieri S, Christen P, Dräger B. Calystegines in wild and cultivated *Erythroxylum* species. *Phytochemistry*. 2005; 66:1231-1240.
14. Hegnauer R. Chemotaxonomy of Erythroxylaceae (including some ethnobotanical notes on old world species). *J. Ethnopharmacol*. 1981; 3:279-292.
15. Barreiros ALBS, Barreiros ML, David JM, David JP, de Queiroz LP. Atividade antioxidante de substâncias presentes em *Dioclea violacea* e *Erythroxylum numulária*. *Rev. Bras. Farmacogn*. 2003; 13:8-11.
16. González-Guevara JL, González-Lavaut JA, Pino-Rodríguez S, García-Torres M, Carballo-González MT, Echemendia-Arana AO, et al. Phytochemical screening and in vitro antiherpetic activity of four *Erythroxylum* species. *Acta Farm. Bonaer*. 2004; 23:506-509.
17. Córdova WHP, Matos MG, Tabart J, Sipel A, Kevers C, Dommes J. In vitro characterization of antioxidant properties of Cuban endemic varieties of *Erythroxylum alaternifolium* A. Rich. isolation of two flavonol glycosides. *J. Chil. Chem. Soc*. 2012; 57:1340-1343.
18. Martins LAV. Avaliação do potencial anticâncer de espécies vegetais de Mato Grosso do Sul [dissertação]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul; 2014.
19. Aguiar JS, Araújo RO, Rodrigues MD, Sena KXFR, Batista AM, Guerra MMP, et al. Antimicrobial, antiproliferative and proapoptotic activities of extract, fractions and isolated compounds from the stem of *Erythroxylum caatingae* Plowman. *Int. J. Mol. Sci*. 2012; 13:4124-4140.
20. Oliveira AC, Sena-Filho JG, Mendes-Júnior LG, Anjos RM, Ribeiro TP, et al. *Erythroxylum pungens* elicits vasorelaxation by reducing intracellular calcium concentration in vascular smooth muscle cells of rats. *Braz. J. Pharmacogn*. 2012; 22:436-442.
21. Reis MR, De Albuquerque JM, Tavares JF, Silva DF, et al. Efeito vasodilatador do extrato metanólico de *Erythroxylum caatingae* Plowman sobre anéis mesentéricos de ratos espontaneamente hipertensos (SHR). *Rev. Ciênc. Med. Biol*. 2012; 11:123-128.
22. Maia AKHL, De Queiroz RB, Da Fonsêca DV, Pinho AS, Dos Santos SG, De Alencar JL, et al. Antinoceptive activity of the extract of *Erythroxylum caatingae*. *Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromat*. 2014; 13:152-162.
23. Santos KC, Monte APO, Lima JT, Ribeiro LAA, Palheta Junior RC. Role of NO-cGMP pathway in ovine cervical relaxation induced by *Erythroxylum caatingae* Plowman. *Anim. Reprod. Sci*. 2016; 164:23-30.
24. Martínez-Hormaza I, Quintero-Rodríguez G, Márquez-Montiel L, González-Lavaut J A, Álvarez-Reyes A, Zarragoitía A. Determinación de la Citotoxicidad de Extractos de *Erythroxylum confusum* Britt. mediante el Método de la *Artemia salina*. *Acta Farm Bonaer*. 2006; 25:429-431.







25. Rodeiro I, Donato MT, Martínez I, Hernández I, Garrido G, González-Lavaut JA, et. al. Potential hepatoprotective effects of new Cuban natural products in rat hepatocytes culture. *Toxicol in Vitro*. 2008; 22:1242-1249.
26. Martins DHN. Avaliação da sazonalidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante de Folhas de *Erythroxylum daphnites* Mart. [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2015.
27. Silva SMM. Avaliação da atividade antimicrobiana de espécies vegetais do Bioma Cerrado [dissertação]. Brasília: Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília; 2013.
28. Simoni IC, Manha APS, Sciessere L, Hoe VMH, Takinami VH, Fernandes M JB. Evaluation of the Antiviral Activity of Brazilian Cerrado Plants Against animal viroses. *Virus Rev Res*. 2007; 12:1-9.
29. De Wet H. Antibacterial activity of the five South African Erythroxylaceae species. *Afr J Biotechnol*. 2011; 10(55):11511-11514.
30. Filho MDL. Estudo Fitoquímico de Espécies do Gênero *Erythroxylum* com Potencial Atividade Vasodilatadora e Inibidora da Enzima Conversora de Angiotensina [dissertação]. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto; 2009.
31. Gusman GS, Campana PRV, Castro LC, Castilho RO, Teixeira MM, Braga FC. Evaluation of the Effects of Some Brazilian Medicinal Plants on the Production of TNF- α and CCL2 by THP-1 Cells. *Evid Based Complementary Altern Med*. 2015; 2015:1-11.
32. Poullain C., Girard-Valenciennes E, Smadja J. Plants from Reunion Island: Evaluation of their Free Radical Scavenging and Antioxidant Activities. *J Ethnopharmacol*. 2004; 95:19-26.
33. Picot CMN, Subratty AH, Mahomoodally F. Inhibitory Potential of Five Traditionally Used Native Antidiabetic Medicinal Plants on α -Amylase, α -Glucosidase, Glucose Entrapment, and Amylolysis Kinetics In Vitro. *Adv Pharmacol Sci*. 2014; 2014:1-7.
34. Mahomoodally M F, Gurib-Fakim A, Subratty AH. Antimicrobial Activities and Phytochemical Profiles of Endemic Medicinal Plants of Mauritius. *Pharm Biol*. 2005; 43:237-242.
35. Leyva O, Alonso A, Rosario LA, Díaz A, Prado Y, Rodeiro I, Arencibia DF. Evaluación antigenotóxica del extracto etanólico de *Erythroxylum minutifolium* grises utilizando el ensaio SOS. *RETEL*. 2003; 26:36-48.
36. Toledo-Castro SM, González-Lavaut JA, Echemendía O, García-González N. Phytochemical and pharmacological evaluation of the fruits of *Erythroxylum minutifolium* Griseb. (Erythroxylaceae). *Rev Cubana Plant. Med*. 2008; 13(2).
37. Silva-Filha E, Silva NL, Macedo FN, Santos LIC, Santos AS, Santos MRV et al. The effects of ethanolic extract of the leaves of *Erythroxylum mucronatum* (Benth.) (Erythroxylaceae) on strength and muscle performance of resistance trained rats. *Phytomedicine Plus*. 2022; 2:1-12.
38. Villanueva VA, Nakata HM. Plantas medicinales: Efecto antibacteriano *in vitro* de *Plantago major* L., *Erythroxylum novogranatense* Plowman var. *truxillense* y *Camellia sinensis* sobre bacterias de importância estomatológica. *Odontol. Sanmarquina*. 2010; 13(2):21-25.
39. Pastor CBV. Efecto Inhibitorio in Vitro del Extracto Acuoso y el Extracto Etanólico de la Hoja de *Erythroxylum novogranatense* var. *truxillense* (Coca)

- sobre el Crecimiento de *Streptococcus mutans* [monografia]. Trujillo: Universidade Nacional de Trujillo; 2011.
40. Barreiros ALBS, Barreiros ML, David JM, David JP, Queiroz LP. Atividade antioxidante de substâncias presentes em *Dioclea violacea* e *Erythroxylum numulária*. Rev bras farmacog. 2003; 13:8-11.
 41. Filho NJM. Determination of cytotoxic effects of terpenes presente in plants from the genus *Erythroxylum* in models of astrocytic cells [dissertação]. Salvador: Universidade Federal da Bahia; 2012.
 42. Pereira GM, Moreira LGL, Negreiros-Neto TS, Almeida WAM, Almeida-Lima J, Rocha HAO et. al. Isolation, spectral characterization, molecular docking, and cytotoxic activity of alkaloids from *Erythroxylum pungens* O. E. Schulz. Phytochemistry. 2018; 155:12-18.
 43. Barbosa MFS, Miranda PHO, Souza CA, Ramos CS, Melo AL, Rocha JE, et al. Effect of hybrid combinations of *Erythroxylum revolutum* Mart. leaf ethanolic extract or alkaloid-enriched fraction with antibiotic drugs against multidrug-resistant bacteria strains. Phytomedicine Plus. 2021; 1:1-8.
 44. Ribeiro EMO. Estudo fitoquímico de *Erythroxylum rimosum* O.E.Schulz e *Erythroxylum betulaceum* Mart. (Erythroxylaceae) [tese]. Salvador: Universidade Federal da Bahia; 2011.
 45. Violante IMP. Avaliação do Potencial Antimicrobiano e Citotóxico de Espécies Vegetais do Cerrado da Região Centro-Oeste. Campo Grande [dissertação]. Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; 2008.
 46. Nascimento MNG. Estudo Químico de *Erythroxylum suberosum* (Erythroxylaceae) frente às catepsinas K, L e V. [dissertação]. Goiânia: Universidade Federal de Goiás; 2014.
 47. Santos, BTA. Estudo da Atividade dos Extratos de Plantas e Fungos Endofíticos Isolados do Cerrado Brasileiro em Linhagem Celular de Feocromocitoma [dissertação]. Brasília: Universidade de Brasília; 2014.

Capítulo 10

Doi.org/10.53934/9786599965814-10

ANÁLISE DO PERFIL BIOLÓGICO E FARMACOLÓGICO DO CAJUEIRO (*Anacardium occidentale*)

Marcio Michael Pontes *; Paloma Andrade Santos Araújo ; Vinícius Araújo de Oliveira ; Nathalia Alexandre Eloy Lins ; Gisele Nayara Bezerra da Silva ; Rosângela Estevão Alves Falcão 

Marcio Michael Pontes - marcio.michelp@upe.br

Resumo: A utilização de compostos naturais com fins terapêuticos é um costume amplamente difundido na cultura do homem. Durante a história da humanidade, a utilização de compostos encontrados em plantas com fins medicinais foi por um longo tempo utilizado no tratamento de infecções, inflamações e outras patologias, este comportamento resultou no desenvolvimento de fármacos que são comumente encontrados em farmácias e utilizados nos dias atuais. Dentre as espécies vegetais utilizadas pode-se destacar o cajueiro (*Anacardium occidentale*), planta típica do nordeste brasileiro, representada por árvores de grande porte e de importância econômica, uma vez que seu fruto e pseudofruto podem ser comercializado, visto sua vasta utilização na culinária, sendo incorporado em vários pratos da culinária nordestina. Ademais, a composição fitoquímica do cajueiro atribui a essa espécie uma grande capacidade farmacológica. Segundo estudos, a espécie pode ser utilizada no tratamento de doenças causadas por fungos, bactérias e outros microorganismos causadores de infecções ou inflamações. O trabalho em questão visa analisar a composição fitoquímica do cajueiro, compostos secundários, capacidade farmacológica e caracterização botânica da espécie, fazendo uma comparação entre trabalhos existentes na literatura, realizando um levantamento de dados em plataformas digitais como o Google Acadêmico, Scielo, Science Direct, Pubmed e Lilacs, após a seleção dos artigos realizado uma triagem para a escrita do trabalho.

Palavras-chave: *Anacardium occidentale*; etnofarmacologia; Botânica; Cajueiro; Revisão de literatura

Abstract: The use of natural compounds for therapeutic purposes is a widespread custom in human culture. During human history, the use of compounds found in plants for medicinal purposes was for a long time used in the treatment of infections, inflammations and other pathologies, this behavior resulted in the development of drugs that are commonly found in pharmacies and used today. Among the plant species used, the cashew tree (*Anacardium occidentale*) can be highlighted, a typical plant from the Brazilian northeast, represented by large trees of economic importance, since its fruit and pseudofruit can be commercialized, given its wide use in cooking, being incorporated into several dishes of northeastern cuisine. Furthermore, the phytochemical composition of the cashew tree gives this species a great pharmacological capacity. According to studies, the species can be used in the treatment of diseases caused by fungi, bacteria and other

microorganisms that cause infections or inflammations. The work in question aims to analyze the phytochemical composition of the cashew tree, secondary compounds, pharmacological capacity and botanical characterization of the species, making a comparison between existing works in the literature, carrying out a data survey on digital platforms such as Google Scholar, Scielo, Science Direct, Pubmed and Lilacs, after selecting the articles, a screening was carried out for the writing of the work.

Key Word: *Anacardium occidentale*; ethnopharmacology; Botany; Cashew; Literature review

INTRODUÇÃO

As plantas são importantes fontes de compostos químicos que podem ser utilizados com diversas finalidades, as vias metabólicas secundárias das plantas dão origem a compostos como taninos, cumarinas, flavonoides, alcaloides, glicosídeos e terpenos (FERREIRA, 2005). A presença desses compostos em plantas representa a composição fitoquímica de diferentes espécies, apresentando substâncias que podem ser utilizadas na indústria farmacêutica para a produção de medicações a base de compostos naturais simples ou combinados sendo uma alternativa mais acessível para populações mais carentes quando utilizados *in natura*, e até mesmo, podendo ser utilizadas para diminuir o uso excessivo de medicações sintéticas. Para isto, é importante investigar os compostos presentes em plantas, isso é feito a partir de estudos farmacológicos dos compostos químicos que podem estar presentes em espécies vegetais.

A etnofarmacologia é um ramo da farmacologia que faz o uso do conhecimento popular associado a estudos laboratoriais que visa analisar o potencial terapêutico de espécies vegetais com a finalidade de produzir medicações à base destes produtos.

O uso de produtos naturais com propriedades terapêuticas pela civilização humana é antigo e, por um longo tempo, o uso de produtos minerais, vegetais e animais foi a principal fonte de substâncias de uso terapêutico (RATES, 2001 apud SILVA, 2015. p1). Várias espécies de vegetais existentes possuem potencial fitoquímico, podendo ser utilizado diversas partes da planta para tais fins. Estima-se a existência de aproximadamente, 250.000 espécies de plantas no mundo e, provavelmente, apenas 10% foram testadas em ensaios biológicos (HARVEY, 2000 apud SILVA, 2015. p1).

A vasta extensão territorial Brasileira atribui ao país uma grande diversidade de espécies vegetais que podem ser utilizadas com diversas finalidades, a exemplo disso a exploração da fruticultura, flores ornamentais e o mercado de fármacos naturais que cresceram significativamente nos últimos anos. Dentre os produtos exportados pelo país está o fruto do cajueiro, a castanha e o seu pseudofruto, o caju.

A espécie em questão tem sido utilizada economicamente, uma vez que o fruto é rico em vitaminas e favorecendo a produção de uma variedade de produtos alimentícios processados ou ainda podendo ser consumido *in natura*.

Anacardium occidentale, popularmente conhecido como cajueiro, cajueiro roxo, cajueiro branco ou cajueiro comum, é uma planta típica da região nordeste, encontrada no bioma da caatinga, cerrado e regiões de floresta amazônica. A planta possui grande potencial tanto econômico, devido a comercialização de seu fruto, a amêndoa da castanha que pode ser consumida em diversos pratos da culinária nordestina, assim como o pedúnculo, ou pseudofruto, que possui diversas colorações e pode ser utilizado na produção de doces e sucos, quanto farmacologia, utilizando-o com diversos fins terapêuticos, inclusive como antimicrobiano.

Nesta perspectiva, o presente trabalho visa analisar o potencial farmacológico do cajueiro, *Anacardium occidentale*, fazendo um levantamento bibliográfico a respeito dos compostos presentes na espécie vegetal em questão, assim como a utilização do mesmo para produção de medicações.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada consiste em uma revisão de literatura baseada em artigos publicados em periódicos indexados nas bases de dados Google Acadêmico, Scielo, Pubmed e Science Direct, publicados entre 2015 e 2022, sendo realizado um levantamento de artigos relacionados à utilização de *Anacardium occidentale L*, termo que foi utilizado com descritor durante a seleção dos artigos. Foram encontrados 94 artigos relacionados ao tema da pesquisa nos quais foram escolhidos inicialmente 38.

O trabalho foi desenvolvido em três etapas, inicialmente foi feita a seleção do material utilizado, dois revisores fizeram um levantamento de dados dos artigos selecionados, analisando em cada trabalho, a composição fitoquímica do cajueiro, compostos secundários, a utilização da planta como fármaco, o potencial antimicrobiano e antiinflamatório da espécie e conceitos de botânica, totalizando a utilização de 17 artigos na pesquisa bibliográfica.

Ao final, quatro artigos abordam conceitos de botânica, oito apresentaram a utilização farmacológica e atividade biológica do cajueiro, e seis apresentaram a composição fitoquímica de compostos secundários da planta. O artigo de Jaramillo-Salazar et al foi revisado em dois diferentes tópicos do trabalho (tabela 1).

Tabela 1: detalhes dos artigos utilizados na revisão bibliográfica

Número de identificação o no texto	Título do artigo	Autor(es)	Ano de publicação	Revista onde o artigo foi publicado	Áreas que o artigo abrangeu
1	Anacardium plants: Chemical,nutritional composition and biotechnological applications	Salehi, Gültekin-Özgüven, Kırkın, Özçelik, Morais-Braga, Carneiro, et al.	2019	biomolecul es	Caracterização botânica
2	Schistosomicidal Activity of Alkyl-phenols from the Cashew <i>Anacardium occidentale</i> against <i>Schistosoma mansoni</i> Adult Worms.	Alvarenga TA, de Oliveira PF, de Souza JM, Tavares DC, Andrade e Silva ML, Cunha WR, et al.	2016	Journal of Agricultura l and Food Chemistry.	Caracterização botânica

- | | | | | | |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 3 | In vitro antimicrobial and cytotoxic effects of <i>Anacardium occidentale</i> and <i>Mangifera indica</i> in oral care. | Anand G, Shetty AV, Ravinanthan M, Basaviah R. | 2015 | Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences | Etnobotânica |
| 4 | USOS MEDICINAIS DE <i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi (ANACARDIA CEAE) EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL: UMA REVISÃO. | BEZERRA, José Jailson Lima | 2022 | Ethnoscientia-Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology | Etnobotânica, Atividade Biológica e fitoquímica |
| 5 | Actividad antibacteriana y antifúngica de los extractos de diferente polaridad de <i>Anacardium occidentale</i> | Jaramillo-Salazar MT, Ocampo-Serna DM, Cruz Naranjo BD, Galvis-García JH. | 2019 | Revista Cubana de Plantas Medicinales | Atividades biológicas e farmacológicas e caracterização fitoquímica |
| 6 | Chemical composition and bioactive compounds of cashew (<i>Anacardium occidentale</i>) apple juice and Bagasse from Colombian varieties. | Cruz Reina LJ, Durán-Aranguren DD, Forero-Rojas LF, Tarapuez-Viveros LF, Durán-Sequeda D, Carazzone C, et al. | 2022 | Heliyon | Caracterização fitoquímica |

7	Larvicidal activities of family Anacardiaceae on Aedes mosquitoes (Diptera: Culicidae) and identification of phenolic compounds.	Zuharah WF, Yousaf A, Ooi KL, Sulaiman SF.	2021	Journal of King Saud University - Science	Caracterização fitoquímica
8	Profiling of phenolics in cashew nut (<i>Anacardium occidentale L.</i>)	Sruthi P, Roopavathi C, Madhava Naidu M.	2022	Food Bioscience	Caracterização fitoquímica
9	Phytochemical profile of <i>Anacardium occidentale L.</i> (cashew tree) and the cytotoxic and toxicological evaluation of its bark and leaf extracts.	Costa AR, Silva JR, de Oliveira TJ, da Silva TG, Pereira PS, Borba EF, et al.	2020	South African Journal of Botany.	Caracterização fitoquímica
10	Phytochemical profile and anti-candida and cytotoxic potential of <i>Anacardium occidentale L.</i> (cashew tree).	Costa AR, Almeida-Bezerra JW, Gonçalves da Silva T, Pereira PS, Fernanda de Oliveira Borba E, Braga AL, et al.	2021	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology	Caracterização fitoquímica

11	Antiplasmodial evaluation of <i>Anacardium occidentale</i> and alkyl-phenols.	Gimenez VMM, Alvarenga TA, Groppo M, Silva MLA, Cunha WR, Januário AH, et al.	2019	Revista Brasileira de Farmacognosia	Atividades biológicas e farmacológicas
12	Effects of associations of tannins from <i>Anacardium occidentale</i> and <i>Anadenanthera colubrina</i> with cephalosporin against bovine <i>Staphylococcus aureus</i> isolates	Pereira AV, Góis MB, Azevêdo TK, Ferraz FN, Vieira SL, Cavalcanti-Dantas VM, et al.	2018	Arquivos do Instituto Biológico	Atividades biológicas e farmacológicas
13	Efecto antidiarreico del polvo de hojas de <i>Anacardium occidentale</i> L. en aves neonatales	Sera NC, Aguilar YM, Rosabal AE; Toro DM.	2017	Revista de produção animal	Atividades biológicas e farmacológicas
14	Goma de Cajueiro (<i>Anacardium occidentale</i> L.) utilizada como alternativa de meio de montagem em Preparações Histológicas.	Paz ST, Paz Rosas E, Cahú TB, Rodrigues CG, Silva TG, Medeiros PL.	2022	Research, Society and Development.	Atividades biológicas e farmacológicas
15	A potent larvicidal agent against <i>Aedes aegypti</i> mosquito from Cardanol.	Paiva DR, Lima DP, Avvari NP, Arruda EJ, Cabrini I, Marques MR, et al.	2017	Anais da Academia Brasileira de Ciências	Atividades biológicas e farmacológicas

16	Agathisflavone, a natural biflavonoid that inhibits SARS-COV-2 replication by targeting its proteases.	Chaves OA, Lima CR, Fintelman-Rodrigues N, Sacramento CQ, de Freitas CS, Vazquez L, et al.	2022	International Journal of Biological Macromolecules.	Atividades biológicas e farmacológicas
17	Evaluation of antitumor potential of cashew gum extracted from <i>Anacardium Occidentale</i> Linn	Barros AB, Moura AF, Silva DA, Oliveira TM, Barreto FS, Ribeiro WLC, et al.	2020	International Journal of Biological Macromolecules.	Atividades biológicas e farmacológicas

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os metabólitos secundários são compostos produzidos por plantas que tem como finalidade a proteção da espécie vegetal frente a agentes abióticos e bióticos, além de atribuir à planta potencial farmacológico, sendo de grande importância para a saúde humana. Cada composto apresenta especificidades, que podem ser utilizadas frente a diversas patologias. Essas substâncias são fruto de adaptações que a planta desenvolve ao longo dos anos, esse mecanismo possibilita um desenvolvimento adaptável à espécie sem comprometer as células e processos fisiológicos, que podem ser influenciados por fatores externos. (ISAH, 2019 apud BORGES 2020)

Os compostos secundários realizam importante papel no processo evolutivo de espécies vegetais assim como na interação destes com os seres vivos. Eles são divididos em três grupos: terpenos, compostos fenólicos e nitrogenados. A primeira classe, os terpenos, são representados por compostos de 5 carbonos, Os diferentes terpenos incluem hemiterpenos (C₅), monoterpenos (C₁₀), sesquiterpenos (C₁₅), diterpenos (C₂₀), sesterpenos (C₂₅), triterpenos (C₃₀), tetraterpenos (C₄₀) e politerpenos (> C₄₀) (BROCK e DICKSCHAT, 2013 apud BORGES 2020).

Os compostos fenólicos estão inclusos em um grupo quimicamente heterogêneo, com aproximadamente 10.000 compostos. Segundo DE LA ROSA et al., 2019 apud BORGES 2020: Alguns desses compostos são solúveis apenas em solventes orgânicos, outros são ácidos carboxílicos e glicosídeos solúveis em água e ainda existem alguns que são grandes polímeros insolúveis.

A última classe, os compostos nitrogenados, estão inclusos os alcalóides, glicosídeos cianogênicos e aminoácidos não proteicos, dentre os quais os alcalóides são encontrados em aproximadamente 20% das espécies, representando assim um dos principais compostos nitrogenados existentes, sendo muito utilizados na farmacologia (BORGES 2020)

CARACTERIZAÇÃO BOTÂNICA E FITOQUÍMICA DO CAJUEIRO

O cajueiro comum, *Anacardium occidentale* L., é uma espécie pertencente à família Anacardiaceae, a qual está incluso árvores de grande porte e arbusto, sendo típica

de clima tropical e subtropical, formado por duas partes o fruto, a castanha, e o pseudofruto, o caju, que pode ser utilizada para a produção de suco.

Figura 1: imagens de *Anacardium occidentale* folha, fruto, pseudofruto e árvore.



Anacardium são plantas adaptadas para solos argilosos e pedregosos, geralmente crescem em altitudes de aproximadamente 600 metros, preferencialmente em solos bem drenados, podendo atingir entre 4,5 a 6,5 metros, com períodos de vida de aproximadamente 30 a 40 anos, entre o terceiro a quarto ano a espécie começa a dar frutos. Segundo SALEHI 2019(1):

”O sistema radicular de uma árvore madura consiste em uma raiz mestra e uma rede extensa e bem desenvolvida de raízes laterais e submersas, depois de cultivadas a partir de sementes [7]. A produção geralmente leva três anos após o plantio e oito anos antes que o rendimento econômico possa começar. No entanto, algumas raças, como o cajueiro anão, iniciam a produção em apenas um ano e atingem a colheita econômica em três anos [8]. A polinização das flores é feita por moscas, abelhas, formigas e vento. A planta é autofértil, prefere solo úmido, tolera seca, vento forte, mas não exposição marítima [9].”

Utilizado comumente por comunidades, principalmente de zona rural, como cicatrizante, suas folhas e casca podem ser utilizadas para o tratamento de úlceras na região da boca, assim como no tratamento de diversas patologias inflamatórias. Além de apresentar propriedades antibacterianas e antifúngicas, representando uma alternativa para o tratamento de infecções em cavidade bucal. (ALVARENGA et al, 2016(2); ANAND et al., 2015(3)).

A família é constituída por aproximadamente 81 gêneros e mais de 800 espécies. muitos exemplares possuem frutos e pseudofrutos que constituem um importante recurso alimentar, como por exemplo o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), mangueira (*Magifera indica* L.), pistache (*Pistacia vera* L.) e umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) (Montanari et al., 2012; Fyfe et al., 2020 apud BEZERRA, 2021.)(4).

Jaramillo-Salazar et al (2019)(5), realizou testes fitoquímicos com extratos rotoevaporados de solventes de diferentes polaridades de *Anacardium occidentale* (água, metanol, acetato de etila, hexano e acetona). Nos testes fitoquímicos de cada extrato foram encontrados os seguintes compostos: para a fração hexânica identificou-se

compostos da classe dos flavonóides; para a fração acetônica foram encontrados flavonóides, triterpenos e esteróides (figura 1); a fração acetato de etila possui alcalóides, flavonóides e lactonas e nas frações metanólica e aquosa encontram-se alcalóides, flavonóides, triterpenos e esteróides.

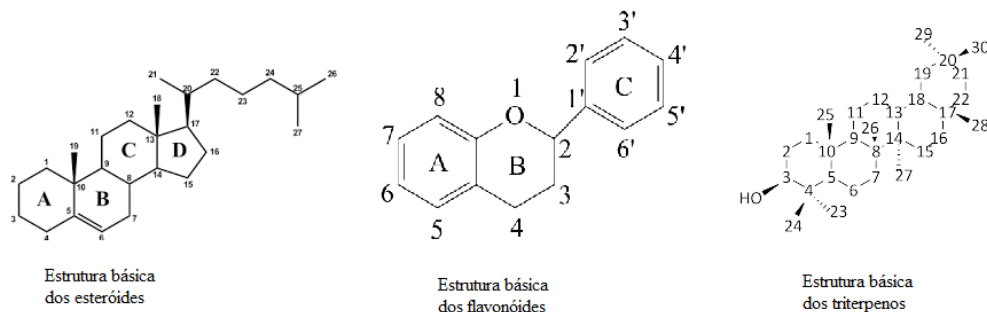


Figura 2: estrutura molecular básica de compostos secundários majoritários do cajueiro. (QUEIROZ, 2009. LIMA; BEZERRA, 2012 SILVA et al, 2020)

Cruz-Reina et al (2022)(6) identificou os compostos secundários do suco do pseudofruto e do bagaço de duas variedades de *Anacardium occidentale*, a variedade Mapiri e a variedade 8315. No pseudofruto identificou taninos, alcalóides em alta quantidade e carotenóides em ambas as variedades. No bagaço identificou leucoantocianinas, taninos, esteróides e carotenóides também em ambas variedades. As duas variedades apresentaram perfis fitoquímicos muito semelhantes. Tanto o pseudofruto quanto o bagaço possuem ácido ascórbico.

Zuharah et al (2021)(7) fez a identificação de compostos secundários do extrato metanólico do tronco de diferentes espécies arbóreas, entre elas a *A. occidentale*. Em seu trabalho ele encontrou a presença de saponinas, taninos, açúcares redutores, flavonóides e esteróides. Os flavonóides encontrados em maior abundância foram a quercetina e a apigenina.

Sruthi, Roopavathi, Naidu M (2022)(8) avaliaram os compostos secundários da casca da castanha de *Anacardium occidentale*. Encontraram muitos compostos das classes polifenóis e flavonóides. Os testes realizados mostraram que os compostos encontrados foram: Flavonóis, flavanonas, antocianinas, taninos condensados e catequinas.

Costa et al (2020)(9) fez a caracterização fitoquímica de extratos etanólicos da casca do tronco e das folhas de *A. occidentale*. Em seu trabalho, ele encontrou compostos da classe dos flavonóides e taninos condensados e hidrolisáveis em ambos os extratos, também identificou a presença de catequinas. Quercetina foi encontrada no extrato das folhas.

Costa et al (2021)(10) encontrou a presença de ácidos fenólicos, flavonóides como a luteolina e a agatisflavona, catequinas e taninos no extrato etanólico da casca do tronco de *A. occidentale*.

A caracterização fitoquímica do *A. occidentale* (tabela 2) indica alta presença de compostos da classe dos flavonóides, como as leucoantocianinas e também de alcalóides. Os carotenóides que também foram encontrados são uma classe de compostos secundários conhecidos por seu potencial antioxidante. Os taninos foram encontrados na maioria dos trabalhos revisados, indicando abundância dessa classe de compostos na planta

Tabela 2: compostos secundários encontrados nos trabalhos revisados

Número de identificação do trabalho	Compostos secundários encontrados
5	Flavonóides, esteróides, lactonas, triterpenos
6	Leucoantocianinas, alcalóides, esteróides, taninos, carotenóides e ácido ascórbico
7	Saponinas, açúcares redutores, taninos, esteróides e flavonóides
8	Flavanóis, flavanonas, antocianidinas e taninos condensados, catequinas
9	Flavonóides, taninos condensados e hidrolisáveis, catequinas e quercetina
10	Ácidos fenólicos, flavonóides, luteolina, agatisflavona Catequinas, taninos

ATIVIDADES BIOLÓGICAS E FARMACOLÓGICAS

Jaramillo-Salazar et al (2019) (5), analisou o potencial, antibacteriano e antifúngico de *Anacardium occidentale* com extratos feitos com solventes de diferentes polaridades (água, metanol, acetato de etila, hexano e acetona) feitos por rotoevaporação. Para a avaliação do potencial antibacteriano foi utilizada a bactéria *Staphylococcus aureus*. Apenas os extratos hexânico e acetato de etila apresentaram atividade antibacteriana. Para a análise antifúngica se utilizou as espécies: *Aspergillus niger* e *Trichophyton rubrum*. Apenas os extratos acetato de etila e acetônico apresentaram atividade antifúngica.

O extrato etanólico bruto de *Anacardium occidentale* apresentou boa atividade plasmodicida frente a espécie *Plasmodium falciparum*, o estudo associa a alta atividade antiplasmodica à abundante presença alquilfenóis em *Anacardium occidentale*. (GIMENEZ et al 2019) (11)

Pereira et al (2018) (12) avaliou o potencial antimicrobiano da associação de cefalexina junto à taninos extraídos de *Anacardium occidentale* e *Anadenanthera colubrina* frente a uma cepa de *Staphylococcus aureus* bovina. Diferentes concentrações foram utilizadas de 0,976 mg/mL a 500 mg/mL para os taninos e 2 µg/mL a 512 µg/mL para a cefalexina. A associação teve a eficácia avaliada pela Concentração inibitória mínima (CMI), tendo CMI de 7,8 mg/mL e os halos de inibição da associação variaram de 0,9 mm a 46 mm. Indicando boa atividade inibitória contra a *S. aureus* bovina.

Para a veterinária e criação de animais, também se observa usos do cajueiro, um estudo realizado com aves neonatais avaliou a ação antidiarreica da suplementação da alimentação das aves com 1,5% de folhas em pó da *Anacardium occidentale*. Chegou à

conclusão que devido a diminuição da secreção de fluidos intestinais as folhas em pó podem ser usadas preventivamente para reduzir a incidência de diarreias nas aves. (SERA et al, 2017) (13).

O exsudato resinoso (goma) de *A. occidentale* possui usos histotecnológicos como alternativa aos meios de montagem de preparação histológica comerciais por questões de biossegurança por ser atóxica, apresentar nitidez das imagens e conservação da morfologia das estruturas observadas. Além disso a MGRC (goma resinosa de cajueiro) é economicamente viável e não prejudica o meio ambiente. (PAZ et al, 2022) (14)

O cardanol (Figura 2) é um dos constituintes do líquido da casca de castanha de caju (*A. occidentale*) e apresenta alta atividade larvicida contra o mosquito vetor da dengue, Zika e chikungunya, *Aedes aegypti*. O cardanol possui letalidade média para as larvas em 24h, sendo altamente letal em 48h e 72h. (Paiva et al) (15).

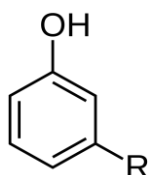


Figura 3: estrutura molecular do cardanol

Chaves et al (2022) (16), avaliou a inibição da replicação do vírus da COVID-19, o SARS-CoV-2 por um biflavonóide natural encontrado em *A. occidentale*, o agatisflavona e chegou à conclusão de que a agatisflavona é um melhor inibidor do que a apigenina, um outro flavonóide que também possui propriedades antivirais. A agatisflavona ataca a protease principal do vírus de maneira não competitiva. Sendo então a agatisflavona um possível recurso para o desenvolvimento de medicamentos antivirais semi-sintéticos.

Barros et al (2020) (17) avaliou o potencial antitumoral do exsudato (resina) de *A. occidentale in vivo* em ratos. A resina foi diluída em solução salina a 0,9% e utilizada no tratamento dos ratos inoculados com as células tumorais. A resina inibiu o crescimento dos tumores com resultados variando entre 36% a 46%.

Os trabalhos revisados mostram o potencial antimicrobiano, plasmodicida, anti-diarréico para aves, biotecnológico na produção de meios atóxicos e biodegradáveis de montagem histológica e ação larvicida contra o *Aedes aegypti* e a ação antiviral contra o SARS-CoV-2 e antitumoral mostram a gama de possibilidades e de diferentes áreas onde é possível fazer a aplicação biológica e farmacológica de *Anacardium occidentale* e a importância da expansão do estudo dos compostos secundários presentes na planta e suas aplicações na farmacologia e biotecnologia. (Tabela 3).

Tabela 3: Atividades biológicas encontradas na revisão

Número de identificação do trabalho	Atividades biológicas encontradas
5	Antibacteriana e antifúngica
11	Plasmodicida

12	<i>Antibacteriana (Staphylococcus aureus)</i>
13	Antidiarréica (para aves)
14	Alternativa para meio de montagem histológica
15	<i>Larvicida (Aedes aegypti)</i>
16	Antiviral
17	Antitumoral

CONCLUSÃO

Anacardium occidentale, o cajueiro, é uma planta de grande importância tanto econômica quanto farmacológica. Sendo utilizado por comunidades majoritariamente de zona rural, apresentar uma vasta composição fitoquímica, a presença de flavonóides, lactonas, esteroides, triterpenos, saponinas, antocianidinas e entre outros compostos atribui a espécie potencial farmacológico, podendo ser utilizada como diversas finalidades dentro da medicina.

Os artigos utilizados apresentaram uma vasta aplicabilidade do cajueiro, sendo utilizado diversos teste com a planta, comprovado assim a capacidade biológica e terapêutica da espécie vegetal, assim como as mais diversas estruturas da planta possuem compostos terapêuticos, desde a folha, casca e até mesmo seu fruto e pseudofruto. Tais características demonstram capacidade fitoterápica da espécie assim como trazem credibilidade ao conhecimento popular.

Ademais, a análise evidenciou as diversas aplicabilidades do cajueiro, desde aspectos econômicos, podendo ser utilizado para comercialização de seus produtos, muito utilizados na culinária, assim como as diversas utilidades do mesmo para o tratamento de patologias causadas por agentes infecciosos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos órgãos de fomento à pesquisa FACEPE e CNPq.

REFERÊNCIAS

1. FERREIRA, A. L. Atividade Antiulcerogênica da espécie *Anacardium humile* St. Hil. (Anacardiaceae). 2005. A42f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Farmacologia, Programa de Pós Graduação em Farmacologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
2. RATES, S. M. K. Plants as source of drugs. *Toxicon*, v. 39, p.603-613, 2001.







3. HARVEY, A. Strategies for discovering drugs from previously unexplored natural products. *Drug Discovery Today*, v. 5, n. 7, p.294-300, 2000.
4. ISAH, T. Stress and Defense Responses in Plant Secondary Metabolites Production. *Biological Research*, v. 52, n. 39, p. 52- 39, 2019.
5. DE LA ROSA, L. A.; MORENOESCAMILLA, J. O.; RODRIGOGARCÍA, J.; ALVAREZ-PARRILLA, E. Phenolic Compounds. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, 1 ed. Elsevier, 2019. 510 p.
6. Borges, Larissa Pacheco, and Víctor Alves Amorim. “Metabólitos Secundários De Plantas.” *Revista Agrotecnologia*, vol. 11, no. 1, 9 Mar. 2020, pp. 54–67.
7. Salehi, Gültekin-Özgülven, Kırkın, Özçelik, Morais-Braga, Carneiro, et al. Anacardium plants: Chemical, nutritional composition and biotechnological applications. *Biomolecules*. 2019;9(9):465.
8. Montanari, R. M.; Barbosa, L. C.; Demuner, A. J.; Silva, C. J.; Andrade, N. J.; Ismail, F.; Barbosa, M. C. Exposure to Anacardiaceae volatile oils and their constituents induces lipid peroxidation within food-borne bacteria cells. *Molecules*, v. 17, n. 8, p. 9728-9740, 2012.
9. Fyfe, S.; Smyth, H. E.; Schirra, H. J.; Rychlik, M.; Sultanbawa, Y. The Nutritional Potential of the Native Australian Green Plum (*Buchanania obovata*) Compared to Other Anacardiaceae Fruit and Nuts. *Frontiers in Nutrition*, v. 7, p. 1-14, 2020.
10. Alvarenga TA, de Oliveira PF, de Souza JM, Tavares DC, Andrade e Silva ML, Cunha WR, et al. SCHISTOSOMICIDAL activity of alkyl-phenols from the cashew *anacardium occidentale* against *schistosoma mansoni* adult worms. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016;64(46):8821–7.
11. Anand G, Shetty AV, Ravinathan M, Basaviah R. In vitro antimicrobial and cytotoxic effects of anacardium occidentale and *Mangifera indica* in oral care. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*. 2015;7(1):69.
12. BEZERRA, José Jailson Lima. USOS MEDICINAIS DE *Schinus terebinthifolia* Raddi (ANACARDIACEAE) EM DIFERENTES REGIÕES DO BRASIL: UMA REVISÃO. *Ethnoscientia-Brazilian Journal of Ethnobiology and Ethnoecology*, v. 7, n. 1, p. 89-108, 2021.
13. Jaramillo-Salazar MT, Ocampo-Serna DM, Cruz Naranjo BD, Galvis-García JH. Actividad antibacteriana y antifúngica de los extractos de diferente polaridad de *Anacardium occidentale*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 2019;24(2):e677
14. Queiroz GS. ANÁLISE DE ESTERÓIDES EM EXTRATOS VEGETAIS
15. E ESTUDO FITOQUÍMICO E BIOLÓGICO PRELIMINAR DE *Brunfelsia uniflora*. Florianópolis. 2009.
16. Lima FO, Bezerra AS. Flavonóides e radicais livres. *Revista Disciplinarum Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas*, Santa Maria, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2012.
17. Silva, F. C. O.; Ferreira, M. K. A.; Silva, A. W.; Matos, M. G. C.; Magalhães,

18. F. E. A.; Silva, P. T.; Bandeira, P. N.; de Menezes, J. E. S. A; Santos, H. S. Bioatividades de Triterpenos isolados de plantas: Uma breve revisão. *Revista virtual de química*. 2020, 12 (1).
19. Cruz Reina LJ, Durán-Aranguren DD, Forero-Rojas LF, Tarapuez-Viveros LF, Durán-Sequeda D, Carazzone C, et al. Chemical composition and bioactive compounds of cashew (*anacardium occidentale*) apple juice and Bagasse from Colombian varieties. *Heliyon*. 2022;8(5).
20. Zuharah WF, Yousaf A, Ooi KL, Sulaiman SF. LARVICIDAL activities of family Anacardiaceae on *Aedes* mosquitoes (Diptera: Culicidae) and identification of phenolic compounds. *Journal of King Saud University - Science*. 2021;33(5):101471.
21. Sruthi P, Roopavathi C, Madhava Naidu M. Profiling of phenolics in cashew nut (*anacardium occidentale* L.) Testa and evaluation of their antioxidant and antimicrobial properties. *Food Bioscience*. 2022;51:102246.
22. Costa AR, Silva JR, de Oliveira TJ, da Silva TG, Pereira PS, Borba EF, et al. Phytochemical profile of *anacardium occidentale* L. (cashew tree) and the cytotoxic and toxicological evaluation of its bark and leaf extracts. *South African Journal of Botany*. 2020;135:355–64.
23. Costa AR, Almeida-Bezerra JW, Gonçalves da Silva T, Pereira PS, Fernanda de Oliveira Borba E, Braga AL, et al. Phytochemical profile and anti-candida and cytotoxic potential of *anacardium occidentale* L. (cashew tree). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2021;37:102192.
24. Gimenez VMM, Alvarenga TA, Groppo M, Silva MLA, Cunha WR, Januário AH, et al. Antiplasmodial evaluation of *anacardium occidentale* and alkyl-phenols. *Revista Brasileira de Farmacognosia*. 2019;29(1):36–9.
25. Pereira AV, Góis MB, Azevêdo TK, Ferraz FN, Vieira SL, Cavalcanti-Dantas VM, et al. Effects of associations of tannins from *anacardium occidentale* and *Anadenanthera colubrina* with cephalosporin against bovine *Staphylococcus aureus* isolates. *Arquivos do Instituto Biológico*. 2018;85.
26. Sera NC, Aguilar YM, Rosabal AE; Toro DM. Efecto antidiarreico del polvo de hojas de *Anacardium occidentale* L. en aves neonatales. *Rev. prod. anim*. 2017; v. 29, n. 3, p. 47-54.
27. Paz ST, Paz Rosas E, Cahú TB, Rodrigues CG, Silva TG, Medeiros PL. Goma de Cajueiro (*anacardium occidentale* L.) utilizada como alternativa de meio de montagem em Preparações Histológicas. *Research, Society and Development*. 2022;11(13).
28. Paiva DR, Lima DP, Avvari NP, Arruda EJ, Cabrini I, Marques MR, et al. A potent larvicidal agent against *Aedes aegypti* mosquito from Cardanol. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 2017;89(1 suppl):373–82.
29. Chaves OA, Lima CR, Fintelman-Rodrigues N, Sacramento CQ, de Freitas CS, Vazquez L, et al. Agathisflavone, a natural biflavonoid that inhibits SARS-COV-2 replication by targeting its proteases. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022;222:1015–26.
30. Barros AB, Moura AF, Silva DA, Oliveira TM, Barreto FS, Ribeiro WLC, et al. Evaluation of antitumor potential of cashew gum extracted from *Anacardium Occidentale* Linn. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;154:319–28.

Capítulo 11

Doi.org/10.53934/9786599965814-11

ANTOCIANINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DE FLORES DE ERVILHA BORBOLETA (*Clitoria ternatea*): REVISÃO DE LITERATURA DO POTENCIAL FITOTERÁPICO E TECNOLÓGICO

Nicole Marina Almeida Maia *; Vanessa Caroline de Oliveira ; Nataly de Almeida Costa ; Maria José do Amaral e Paiva ; Daniele Juliana Rodrigues Gonçalves ; Larissa Lorrane Rodrigues Borges; Érica Nascif Rufino Vieira 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: nicole.maia@ufv.br

Resumo: *Clitoria ternatea*, também conhecida como ervilha-borboleta, é uma leguminosa nativa da Indonésia, mas bem adaptada em solos de áreas equatoriais tropicais como no Brasil. O potencial da planta e suas flores azuis como alimento funcional é evidenciando há décadas pela medicina tradicional indiana ayurvédica e diversas pesquisas científicas atestam as suas propriedades antioxidantes em estudos in vivo e in vitro. A funcionalidade das flores é atribuída aos compostos fenólicos e antocianinas, que são moléculas capazes de reagir com subprodutos metabólicos, como as espécies reativas de oxigênio, e assim eliminá-las do organismo. Além disso, as antocianinas ternatinas são responsáveis pela coloração natural azul das flores de ervilha-borboleta. Nesse contexto, a indústria alimentícia possui interesses em aproveitar os biocompostos da *Clitoria ternatea* para desenvolver alimentos mais nutritivos, formular um aditivo natural conservante e corante azul e produzir embalagens inteligentes. Nesta revisão o objetivo é reunir estudos e metodologias in vivo e in vitro das propriedades fitoterápicas do extrato de *Clitoria ternatea* e demonstrar a aplicabilidade dos compostos bioativos das flores no desenvolvimento de novos produtos contribuindo assim para fomentar novos estudos científicos e incentivar a utilização de aditivos alimentares naturais.

Palavras-chave: antocianinas; atividade antioxidante; *Clitoria ternatea*; compostos fenólicos;

Abstract: *Clitoria ternatea*, also known as butterfly pea, is a leguminous native to Indonesia, but adapted to soils in tropical equatorial areas such as Brazil. The potential of the plant and its blue flowers as a functional food has been evidenced for decades by traditional Indian Ayurvedic medicine and several scientific studies attest to its antioxidant properties in in vivo and in vitro studies. The functionality of the flowers is attributed to phenolic compounds and anthocyanins, which are controlled in order to combat metabolic by-products, such as reactive oxygen species, and thus eliminate them from the body. In addition, delphinidin anthocyanidins are responsible for the natural blue color of butterfly pea flowers. In this context, the food industry was interested in taking advantage of the antioxidant potential and natural blue dye of *Clitoria ternatea* to develop more nutritious foods, formulate a natural preservative additive and blue dye and produce smart packaging. In this review, the objective is to gather in vivo and in vitro studies and methodologies of the phytotherapeutic properties of the *Clitoria ternatea* extract and to demonstrate the

applicability of the bioactive compounds of the flowers in the development of new satisfied products, thus promoting new scientific studies and encouraging the use of food additives natural.

Key Word: anthocyanins; antioxidant activity; *Clitoria ternatea*; phenolic compounds

INTRODUÇÃO

A utilização de flores comestíveis na alimentação está relacionada a práticas culturais, geralmente associadas aos efeitos benéficos para a saúde. No entanto, o mercado gastronômico e a indústria alimentícia demonstram interesse nas preparações e produtos empregando essas flores. A gastronomia emprega as flores na culinária como forma de diversificar o sabor, aroma e cor das preparações, além de proporcionar uma nova experiência gastronômica. Para a indústria alimentícia, além dos atributos sensoriais, o emprego do extrato de flores comestíveis objetiva propriedades tecnológicas como potencial conservante, corante e melhoria no perfil nutricional dos produtos alimentícios.

A Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária (Embrapa), considera as flores comestíveis dentro da categoria de Plantas Alimentícias não Convencionais (PANCs) e destaca um nicho de mercado em potencial para os produtores (1). As PANCs são definidas como espécies vegetais que possuem uma ou mais partes alimentícias que não são corriqueiras, que não fazem parte do dia a dia, sendo espontâneas ou cultivadas, nativas ou exóticas, incluindo partes comestíveis de espécies convencionais como as flores brotos e sementes de abóbora (2). Dentre as PANCs introduzidas no Brasil, destaca-se a *Clitoria ternatea* e o seu potencial como aditivo corante azul.

A *Clitoria ternatea*, tradicionalmente conhecida como cunhã ou ervilha borboleta, é uma leguminosa herbácea perene, originária da Indonésia, com até 2-3 metros de altura, encontrada em áreas equatoriais tropicais sendo as plantas bem adaptáveis às diversas condições de temperatura e umidade (3). Diversos pesquisadores atestaram que os compostos bioativos extraídos de sementes, raízes, flores e folhas de *Clitoria ternatea*, possuem potencial ação antioxidante (4,5), ação antimicrobiana (6,7) e atividade hepatoprotetora (8). Além das propriedades citadas, as flores de ervilha borboleta são muito utilizadas devido as diversas antocianinas que lhe conferem a coloração azul.

As antocianinas pertencem a classe de compostos fenólicos, na subclasse dos polifenóis, e são caracterizadas pelo esqueleto de carbono com a configuração C6 – C3 – C6 e contém 15 átomos de carbono (9,10). As moléculas de antocianinas absorvem fortemente na região UV-visível do espectro eletromagnético conferindo diversas cores em flores, folhas, sementes e tubérculos, raízes, caules e frutos que vão do vermelho ao violeta e azul (11). Dentre essas antocianinas, as ternatinas, presentes nas flores de *Clitoria ternatea*, constituem um grupo de 15 antocianinas poliaciladas responsáveis pela estabilidade em uma diversa gama de pH e sua aplicação tecnológica como corante (5).

Os objetivos desta revisão são reunir estudos científicos que corroboram com o potencial fitoterápico dos compostos fenólicos e antocianinas das flores de *Clitoria ternatea*, demonstrar as metodologias empregadas por esses autores e indicar as principais aplicações tecnológicas e inovadoras da indústria alimentícia dos compostos ativos dessa planta. Assim é possível apoiar cientificamente a utilização de flores de ervilha borboleta como matéria-prima para desenvolver produtos alimentícios com melhor valor nutricional e incentivar a utilização de aditivos alimentares mais naturais no processamento de alimentos.

ANTOCIANINAS E COMPOSTOS FENÓLICOS DA ERVILHA BORBOLETA

Matriz vegetal: *Clitoria ternatea*

Clitoria ternatea pertence à família Fabaceae, e também é conhecida como ervilha-borboleta. É uma leguminosa herbácea perene, com até 2-3 metros de altura, encontrada em áreas equatoriais tropicais sendo as plantas bem adaptáveis às diversas condições de temperatura e umidade (3). A planta é originária do arquipélago de Molluca (Indonésia), tendo o primeiro registro de espécie na ilha de Ternate e, atualmente, está amplamente distribuída na América do Sul e Central, regiões da Ásia tropical como Índia, China, Filipinas e em outros países de clima equatorial tropical (12), inclusive no Brasil onde a planta é popularmente conhecida como cunhã.

Existem diferentes linhagens com diversas colorações de flores de *Clitoria ternatea*: azul escuro, azul claro, lilás e branco. A variedade de cores está relacionada, principalmente, com as estruturas químicas das diversas antocianinas presentes nas pétalas (13). A figura 1 apresenta a flor de *Clitoria ternatea* selvagem (A) e um exemplar do cultivar *Double blue* no qual as pétalas radiais possuem coloração azul escuro.



Figura 4 – *Clitoria ternatea* azul com pétalas bilaterais (A) e flores do cultivar *Double blue* com pétalas radiais (B).

Antocianinas e compostos fenólicos: estrutura química

As antocianinas pertencem a classe de compostos fenólicos, na subclasse dos polifenóis, e são caracterizadas pelo esqueleto de carbono com a configuração C6 – C3 – C6 e contém 15 átomos de carbono (9,10). As moléculas de antocianinas absorvem fortemente na região UV-visível do espectro eletromagnético conferindo diversas cores em flores, folhas, sementes e tubérculos, raízes, caules e frutos que vão do vermelho ao violeta e azul (11).

O cátion flavilium apresentado na Figura 2 é a estrutura básica das antocianinas e por ser deficiente em elétrons é, portanto, muito reativo.

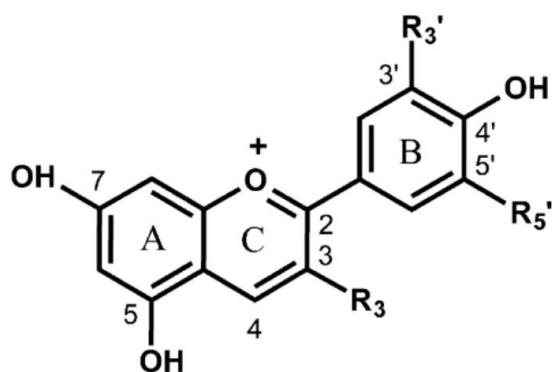
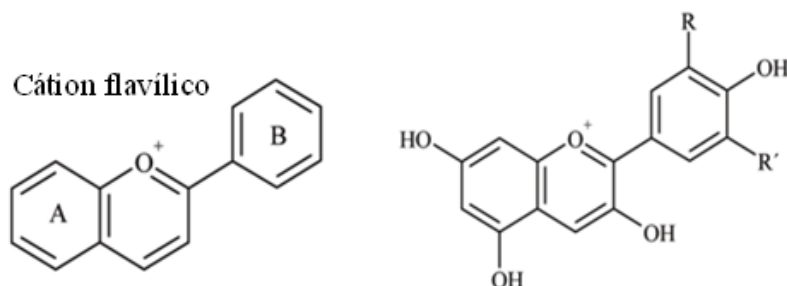


Figura 2 – Estrutura básica do cátion flavilium (14).

Por serem muito reativas, as estruturas básicas do cátion flavilium são geralmente moléculas glicosiladas que absorvem luz em torno de 500 nm (15). Quando não glicosiladas as antocianinas são chamadas de antocianidinas ou agliconas. São conhecidas em torno de 22 a 25 antocianidinas mas apenas seis (cianidina, delphinidina, malvidina, pelargonidina, peonidina e petunidina) são importantes em alimentos (16,17). As antocianidinas comumente encontradas na natureza e sua estrutura química estão relacionadas na Figura 3 onde os radicais R e R' modificam-se e dão origem as diferentes antocianidinas naturais.



Antocianidina	R	R'
cianidina	OH	H
delfinidina	OH	OH
malvidina	OCH ₃	OCH ₃
pelargonidina	H	H
peonidina	OCH ₃	H
petunidina	OCH ₃	OH

Figura 3 – Estrutura química geral das antocianidinas frequentemente encontradas em alimentos. Adaptado: Schiozer; Barata (15)

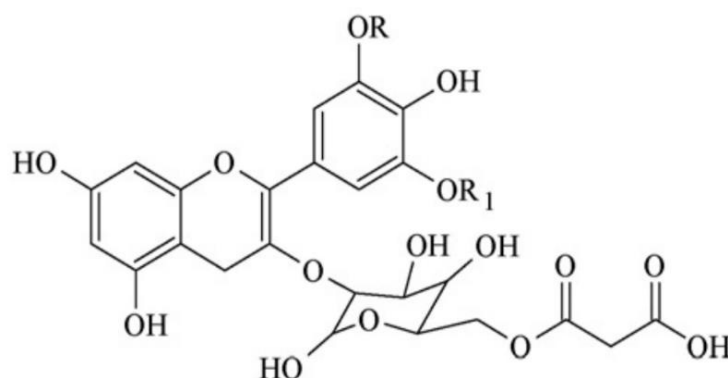
Antocianinas responsáveis pela coloração azul

Nas antocianinas, os resíduos de açúcar podem ser acilados com ácidos cinâmicos ou com ácidos alifáticos que são ácidos orgânicos presentes nas estruturas celulares dos vegetais. As antocianinas podem ser classificadas de acordo com a quantidade de grupos acilas em: antocianinas não acetiladas, monoaciladas e poliaciladas (18).

A poliacilação é caracterizada por duas ou mais acilações na mesma molécula (19). A poliacilação com grupos acilas aromáticos proporciona a copigmentação intramolecular com as antocianidinas. Essa copigmentação é responsável pelas colorações azuladas das flores mesmo em condições de pH fisiológico e sendo, portanto, o fenômeno que evidencia

a coloração azul em flores de *Clitoria ternatea* (20). As antocianinas poliaciladas possuem maior potencial corante em relação as antocianinas monoaciladas e não acetiladas devido a sua maior estabilidade em uma ampla faixa de pH (21).

As pétalas de *Clitoria ternatea* acumulam antocianinas poliaciladas denominadas ternatinas (ternatins): A1, A2, A3, B1, B2, B3, B4, C1, C2, C3, C4, C5, D1, D2 e D3 (13,22–26). As ternatinas são definidas como um grupo de 15 antocianinas poliaciladas derivadas da delphinidina 3-O-(6''-O-malonil)- β -glicosídeo. A derivação ocorre pela substituição dos grupos OH das posições 3' e 5' (anel B da antocianidina) por uma cadeia de unidades alternadas de D-glicose (G) e ácido p-cumárico (C) (13,24). As preternatinas (preternatins) identificadas por Terahara et al. (24) são prováveis precursoras das ternatinas A3 e C4 e, segundo esses autores, para cada ternatina poderia haver uma preternatina correspondente. A figura 4 representa a estrutura da delphinidina malonilada 3,3',5'-triglicosídeos e demonstra as cadeias laterais alternadas encontradas nas flores de *Clitoria ternatea*.



TERNATINA	R	R1
TERNATINA A1	GCGCG	GCGCG
TERNATINA A2	GCGCG	GCG
TERNATINA A3	GCG	GCG
TERNATINA B1	GCGCG	GCGC
TERNATINA B2	GCGC	GCG
TERNATINA B3	GCGCG	GC
TERNATINA B4	GCG	GC
TERNATINA C1	GCGC	G
TERNATINA C2	GCGCG	G
TERNATINA C3	GC	G
TERNATINA C4	GCG	G
TERNATINA C5	G	G
TERNATINA D1	GCGC	GCGC
TERNATINA D2	GCGC	GC
TERNATINA D3	GC	GC

Figura 4 – Estrutura química da delphinidina malonilada 3,3',5'-triglicosídeos e as cadeias laterais alternadas encontradas nas pétalas de *Clitoria ternatea* (27).

Estabilidade das ternatinas

A teoria do empilhamento molecular é uma abordagem química dos mecanismos de copigmentação e auto-associação. De acordo com essa teoria, ambos os mecanismos ocorrem por interações hidrofóbicas entre anéis aromáticos de antocianinas com anéis aromáticos de copigmentos (Figura 5-A) ou por interações de anéis aromáticos de mais de uma antocianina, chamada de auto-associação (Figura 5-B). Além disso, pode ocorrer o empilhamento intramolecular conhecido como copigmentação intramolecular (Figura 5-C) (14).

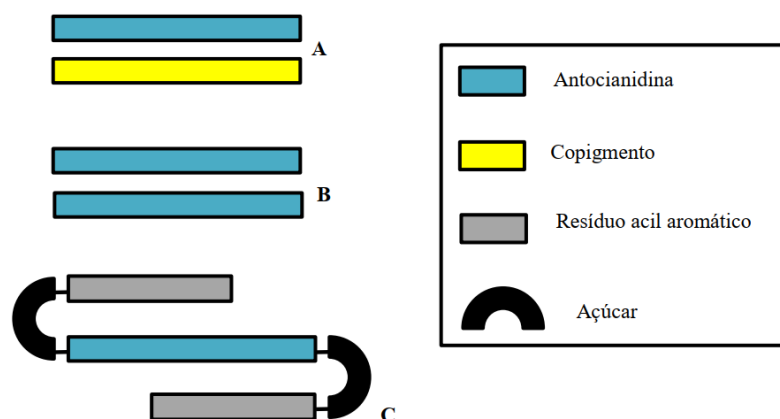


Figura 5 – Estrutura química da delfinidina malonilada 3,3',5'-triglicosídeos e as cadeias laterais alternadas encontradas nas pétalas de *Clitoria ternatea* (14).

A copigmentação intramolecular, ou empilhamento tipo sanduíche, ocorre em antocianinas poliaciladas como ocorre nas ternatinas presentes nas flores de *Clitoria ternatea*. Nas antocianinas poliaciladas, os resíduos aromáticos de grupos acil empilham sobre o cromóforo antocianidina por ligações hidrofóbicas e o empilhamento pode ocorrer em ambos os lados do cromóforo antocianidina (14). A estabilidade de cor das antocianinas pode ser descrita em termos colorimétricos ou em estabilidade química. A estabilidade de cor está relacionada ao equilíbrio reversível entre formas coloridas e incolores sendo influenciadas principalmente pelo pH. Já a estabilidade química relaciona-se com a degradação química irreversível de pigmentos, principalmente dos cromóforos (18).

Considerando a estabilidade das ternatinas em uma ampla faixa de pH e o seu potencial nutracêutico fica evidente que a utilização das pétalas de *Clitoria ternatea* para o desenvolvimento de produtos inovadores é atrativa para a indústria alimentícia (17). Sendo assim, algumas pesquisas de propriedades funcionais de saúde assim como algumas aplicações tecnológicas são exploradas no próximo capítulo.

2. FLORES DE ERVILHA BORBOLETA COM PROPRIEDADES FUNCIONAIS DE SAÚDE E APLICAÇÕES TECNOLÓGICAS

Segundo Mukherjee et al. (27), a *Clitoria ternatea* tem sido tradicionalmente utilizada pela medicina clássica indiana ayurvédica como tratamento para diversas doenças e estudos atestam a ampla gama de atividades farmacológicas de compostos bioativos presentes nos extratos desta planta. Os compostos bioativos extraídos de sementes, raízes,

flores e folhas da ervilha borboleta são estudados pela potencial ação antioxidante (4,5), antimicrobiana (5,28,29), antidiabética (30,31), anti-hipertensiva (31) e hepatoprotetora (8,32).

Nas flores da ervilha borboleta, os compostos fenólicos são os mais abundantes, principalmente as antocianinas ternatinas e derivados da delphinidina que são responsáveis pela coloração azul das pétalas (33). Na alimentação humana, os compostos fenólicos são responsáveis por efeitos fisiológicos benéficos na saúde como a redução do risco de doenças cardiometabólicas e a prevenção de danos oxidativos de lipídios e lipoproteínas (34). Os compostos agem inibindo a agregação plaquetária, eliminando radicais livres ou agindo como quelante de metais (31).

Daisy e Rajathi (35) observaram efeitos hipoglicêmicos sobre diabetes induzida em ratos com a utilização de extratos de *Clitoria ternatea*. Em outro estudo in vivo, notou-se que a mistura do pó de flores de *Clitoria ternatea* e de *Punica granatum* possuem potencial anti-hiperglicêmico, sobre diabetes mellitus induzidas em ratos, análogo ao medicamento metformina (36). No extrato de partes aéreas de *Clitoria ternatea* foram encontradas atividade de regeneração pancreática, efeito anti-hiperlipidêmico e antidiabético em ratos diabéticos induzidos por estreptozotocina (37). O possível mecanismo de ação para esses resultados são o aumento da secreção de insulina e o aprimoramento da glicogênese (síntese de glicogênio no fígado e músculos) induzidas pelos fitoquímicos presentes nas plantas de *Clitoria ternatea* (35). Dentre os compostos bioativos citados nos estudos anteriores, Chusak et al. (38) atribuíram os efeitos hipoglicêmicos, ao pool de compostos fenólicos presentes em flores de *Clitoria ternatea* tais como kaempferol, delphinidina (ternatinas), ácido *p*-coumárico e quercetina que agem sobre as enzimas α -amilase pancreática e a α -glucosidase durante a digestão in vitro do amido. A modulação de genes relacionados a diabetes também pode ser regulada com a utilização de extrato proteico de flores de *Clitoria ternatea* em camundongos diabéticos induzidos por aloxana (30). Segundo esses autores, a modulação genética para expressão dos genes PPAR γ , Tcf712, Glut2 e Capn10 desempenhou aumento na sensibilidade e secreção de insulina e a supressão do gene MCP1 indica papel na redução da inflamação relacionada ao diabetes.

A glicação de proteínas, ocorre pela reação não enzimática entre açúcares redutores (glicose e frutose) e grupos aminos livres presentes nas moléculas biológicas tendo como uma das causas o aumento persistente de glicose sanguínea (39). Essa reação contribui para a formação de produtos finais de glicação avançada que acumulam no organismo e modificam funcionalmente proteínas contribuindo assim para o envelhecimento e patogênese de doenças como a diabetes e Alzheimer (40). O efeito inibitório do extrato de flores de *Clitoria ternatea* na glicação de proteínas e em danos oxidativos ao DNA utilizando modelos in vitro indicaram o efeito preventivo da glicação proteica induzida por frutose e danos a proteínas e ao DNA dependentes de oxidação (41). Chayaratanasin; Adisakwattana; Thilavech (41), sugerem que os compostos bioativos presentes nos extratos das flores de ervilha borboleta exercem efeitos inibitórios na glicação de proteínas e de proteção contra danos oxidativos mediante a captura de diferentes tipos de radicais livres e o aprisionamento de grupos carbonila.

O extrato parcialmente purificado das flores de *Clitoria ternatea* também apresentou atividade antimicrobiana, efeito protetor contra hemólise de eritrócitos, inibição da α -amilase e α -glucosidase e conversora da angiotensina-I (ECA-I), inibição da peroxidação lipídica, capacidade de absorção de radicais livres, inibição da cisão da fita de DNA, inibição

da oxidação do colesterol LDL e atividade antioxidante contra espécies reativas de oxigênio em ensaios in vitro (31). Os autores (31) relataram que os efeitos antioxidantes intracelulares dos extratos brutos de *Clitoria ternatea* são devido à natureza complexa de sua composição, ou seja, as antocianinas presentes são capazes de auto-associar, interagir com flavonoides de estrutura semelhante e reagir com muitas outras substâncias como resultado de sua carga positiva (cátions) na estrutura do anel central (42).

O quadro 1 apresenta algumas pesquisas com extratos de várias partes de *Clitoria ternatea* e demonstra os resultados quantificação de compostos ativos, atividade antioxidante e efeitos de saúde observados in vitro e in vivo. As pesquisas foram obtidas por busca nas bases de dados Scopus, Science Direct e Web of Science utilizando as palavras chave anthocyanins; antioxidant activity; *Clitoria ternatea*; phenolic compounds no período de 2010 a 2022.

Tabela 1 – Estudos in vitro e in vivo quantificando compostos ativos, atividade antioxidante e alegações de saúde de extratos de várias partes de *Clitoria ternatea*.

Análises	Extrato	Resultados	Autores
<p>In vitro: TPCs*, TFCs**, PACs*** e TFlaCs****, atividade antioxidante (DPPH e ABTS), atividade inibitória de xantina oxidase, proteção do DNA, oxidação de plasma e hemólise eritrocitária.</p>	<p>Extrato aquoso de flores tratadas com tecnologia de ultrassom</p>	<p>TPCs: 87 mg de ácido gálico/g de DW de extrato. TFCs: 29 mg quercetina/g de DW de extrato. PACs: 11mg de catequina/g de DW de extrato. TFlaCs: 10 mg de quercetina/g de DW de extrato. DPPH e ABTS: 931,46±16,91 e 13488±685,801 µg Trolox/g DW 500-2000 µg/mL de extrato protegem o dano ao DNA do plasmídeo pBR322, oxidação do plasma e inibem a hemólise eritrocitária.</p>	(4)
<p>In vivo: danos hepáticos em camundongos induzidos por paracetamol In vitro: Atividade antioxidante -DPPH e IC₅₀ TPC*: Folin-Ciocalteu TFC**: espectrofotometria (43)</p>	<p>Extrato metanólico das folhas</p>	<p>A quantidade de TPCs e TFCs foi 358,99 ±6,21 mg/g equivalente de ácido gálico e 123,75 ± 2,84 mg/g equivalente de catequina, respectivamente. Atividade antioxidante de 67,85% na concentração de 1mg/mL valor de IC₅₀ de 420,00 µg/mL. Diminuição significativa nos níveis de</p>	(32)

alanina aminotransferase,
aspartato aminotransferase, e
bilirrubina em camundongos.

<p>In vitro: células de ascite de linfoma Dalton (DLA) e a citotoxicidade pelo método de exclusão azul de tripano.</p>	<p>Extratos de éter de petróleo e etanólico de flores</p>	<p>Em éter de petróleo a concentração de 10µg/mL reduziu de 8% a 100% a contagem de células DLA. Para o extrato etanólico foram necessários 500 µg/mL para reduzir 80% da contagem de células. (44)</p>
<p>In vitro: inibição da α-amilase. In vivo: modulação dos genes relacionados a diabetes em camundongos diabéticos</p>	<p>Extrato proteico</p>	<p>O extrato proteico diminuiu o nível de glicose no sangue de camundongos diabéticos induzidos por aloxana e regulou positivamente a expressão de genes relacionados ao diabetes. (30)</p>
<p>In vitro: Esctrofluorímetro, eletroforese em gel redução do citocromo c e ensaio de substâncias reativas do ácido tiobarbitúrico e HPLC</p>	<p>Extrato das flores</p>	<p>0,25-1 mg/mL de extrato inibiu significativamente a formação de produtos finais de glicação avançada e a oxidação de proteínas. (41)</p> <p>0,125-1 mg/mL preveniu a clivagem oxidativa do DNA.</p>
<p>In vitro: ação antimicrobiana e anti-hemolítica, inibição ECA-I, α-amilase e α-glicosidase, inibição da peroxidação lipídica induzida por Fe⁺² em tecido cerebral de ratos e inibição da cisão da fita de DNA e de colesterol LDL.</p>	<p>Extrato bruto (CLE) e parcialmente purificados (PPE) aquoso das flores</p>	<p>Extratos inibiram o crescimento de <i>L. monocytogenes</i>, <i>B. cereus</i> e <i>S. cerevisiae</i>; (31)</p> <p>40-120 µg/mL de extrato protegeram contra hemólise de eritrócitos provenientes de sangue humano tipo O⁺;</p> <p>6,7 mg/mL de extrato inibiram 61% da atividade de ECA-I (atividade anti-hipertensiva)</p>

20 mg/mL inibiu 38% da atividade da α -amilase. Para α -glicosidase, 500 μ g/mL inibiu 20% da atividade enzimática; 1-5 mg/mL inibiram 9 a 18% da peroxidação lipídica em meio biológico; O extrato PPE inibiu 94% da cisão da fita dupla de DNA; 2,5 μ g/mL mostraram efeito protetor contra oxidação de LDL inibindo 34% (PPE) e 32% (CLE) da oxidação em 8 horas de incubação.

Compostos fenólicos totais (TPCs)*; Conteúdo total de flavonoides (TFCs)**; Conteúdo de protociandinas (PACs)*** Conteúdo total de flavonóis (TFlaCs)****;

O desenvolvimento de novos produtos utilizando os potenciais da *Clitoria ternatea* como fonte de corante natural azul, ou por suas propriedades tecnológicas também é tema de estudos científicos. No desenvolvimento de uma bebida kombucha utilizando flores de ervilha borboleta, os autores apontam benefícios funcionais observados em camundongos (45). Em panificação o extrato de *Clitoria ternatea* reduziu significativamente o índice de hidrólise, o índice glicêmico previsto e a digestibilidade do amido através da inibição de enzimas digestivas de carboidratos em ensaios in vitro (46). As propriedades antibiofilme de extratos ricos em antocianina de *Clitoria ternatea* foram eficientes contra bactérias formadoras de carie dental (47) e também de *Pseudomonas aeruginosa* (48). Antocianinas de ervilha borboleta também foram incorporadas em embalagens colorimétricas para monitorar o deterioramento de carne de porco (49). Segundo Monteiro (50), o manejo agroecológico de *Clitoria ternatea* no Brasil possibilita fonte de renda para agricultores familiares visto que é uma planta de fácil cultivo e adaptação, mínimo processamento para comercialização e potencial mercado gastronômico.

As principais aplicações tecnológicas e inovadoras da ervilha-borboleta são categorizadas na figura 6:

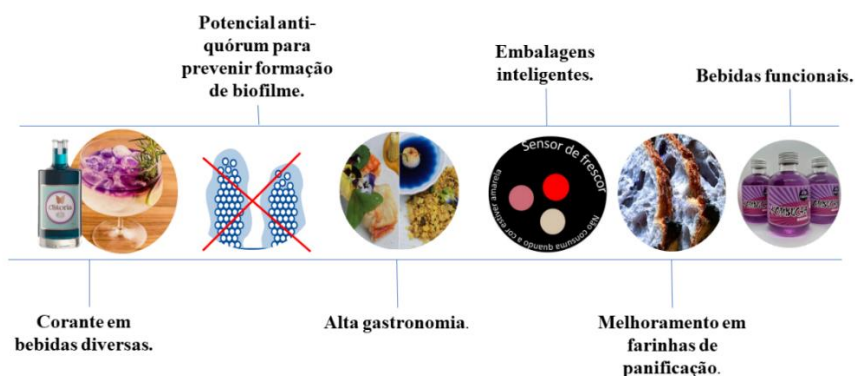


Figura 6 – Aplicações tecnológicas e inovadoras de *Clitoria ternatea*.

CONCLUSÕES

As flores de *Clitoria ternatea* apresentam benefícios antioxidantes por serem fontes de compostos fenólicos e antocianinas e esses compostos podem ser melhor explorados pela indústria alimentícia seja para melhorar o perfil nutricional de produtos alimentícios, ou para aplicações tecnológicas como conservante, corante natural e em embalagens inteligentes. No entanto, os estudos de desenvolvimento de produtos alimentícios e análise sensorial ainda são incipientes. O cultivo de *Clitoria ternatea* no Brasil é facilitado pelas condições de solo e clima favoráveis e o desenvolvimento sustentável da cadeia produtiva das flores da ervilha-borboleta pode gerar produtos com valor agregado que contribuem para o desenvolvimento da economia rural de pequenos e médios produtores.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

1. Embrapa. Production of edible flowers for the gourmet niche market: program 3: Northeast/Jequitinhonha Valley. Available from: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1105123>
2. Kinupp VF e, Lorenzi H. Plantas alimentícias não convencionais (PANC) no Brasil: guia de identificação, aspectos nutricionais e receitas ilustradas. Instituto Plantarum De Estudos Da Flora Ltda. 2019. p. 767.
3. Kumar R. Phytochemical and antibacterial activities of crude leaf and root extracts of *Clitoria ternatea* varieties (Fabaceae). J Pharmacogn Phytochem. 2017;6(6):1104–8.
4. Mehmood A, Ishaq M, Zhao L, Yaqoob S, Safdar B, Nadeem M, et al. Impact of ultrasound and conventional extraction techniques on bioactive compounds and biological activities of blue butterfly pea flower (*Clitoria ternatea* L.). Ultrason

- Sonochem. 2019 Mar 1;51:12–9.
5. Vidana Gamage GC, Lim YY, Choo WS. Anthocyanins From *Clitoria ternatea* Flower: Biosynthesis, Extraction, Stability, Antioxidant Activity, and Applications. Vol. 12, Frontiers in Plant Science. Frontiers Media S.A.; 2021.
 6. Jamil N, Pa'Ee F. Antimicrobial activity from leaf, flower, stem, and root of *Clitoria ternatea* - A review. In: AIP Conference Proceedings. American Institute of Physics Inc.; 2002.
 7. Kamilla L, Mnsor SM, Ramanathan S, Sasidharan S. Antimicrobial activity of *Clitoria ternatea* (L.) extracts. Pharmacologyonline. 2009;1:731–8.
 8. Nithianantham K, Ping KY, Latha LY, Jothy SL, Darah I, Chen Y, et al. Evaluation of hepatoprotective effect of methanolic extract of *Clitoria ternatea* (Linn.) flower against acetaminophen-induced liver damage. Asian Pacific J Trop Dis. 2013 Aug 1;3(4):314–9.
 9. Harborne J. Plant polyphenols. XI. Structure of acylated anthocyanins. Phytochemistry. 1964;3:151–60.
 10. Mazza G, Brouillard R. Recent developments in the stabilization of anthocyanins in food products. Food Chem. 1987;25(3):207–25.
 11. Brouillard R. The in vivo expression of anthocyanin colour in plants. Phytochemistry. 1983 Jan 1;22(6):1311–23.
 12. Zingare ML, Zingare PL, Dubey AK, Ansari A. *Clitoria ternatea* (APARAJITA): A review of the antioxidant, antidiabetic and hepatoprotective potentials. Int J Pharm Biol Sci. 2013;3(1):203–13. Available from: www.ijpbs.com or www.ijpbsonline.com
 13. Kazuma K, Noda N, Suzuki M. Flavonoid composition related to petal color in different lines of *Clitoria ternatea*. Phytochemistry. 2003 Nov 1;64(6):1133–9.
 14. Trouillas P, Sancho-García JC, De Freitas V, Gierschner J, Otyepka M, Dangles O. Stabilizing and Modulating Color by Copigmentation: Insights from Theory and Experiment. Vol. 116, Chemical Reviews. American Chemical Society; 2016. p. 4937–82.
 15. Schiozer AL, Barata LES. Estabilidade de Corantes e Pigmentos de Origem Vegetal. Rev Fitos. 2007;3:6–24. Available from: <http://www.revistafitos.far.fiocruz.br/index.php/revista-fitos/article/view/71>
 16. Francis FJ. Anthocyanins and betalains: Composition and applications. Vol. 45, Cereal Foods World. 2000. p. 208–13.
 17. Sinopoli A, Calogero G, Bartolotta A. Computational aspects of anthocyanidins and

- anthocyanins: A review. *Food Chem.* 2019 Nov 1;297:124898.
18. Marpaung AM, Andarwulan N, Hariyadi P, Nur Faridah D. The colour degradation of anthocyanin-rich extract from butterfly pea (*Clitoria ternatea* L.) petal in various solvents at pH 7. *Nat Prod Res.* 2017;31(19):2273–80.
 19. Bakowska A. Acylated anthocyanins as stable, natural food colorants : A review. *Polish J food Nutr Sci.* 2005;14(2):107–16.
 20. Honda T, Tatsuzawa F, Kobayashi N, Kasai H, Nagumo S, Shigihara A, et al. Acylated anthocyanins from the violet-blue flowers of *Orychophragonus violaceus*. *Phytochemistry.* 2005 Aug;66(15):1844–51.
 21. Fenger JA, Roux H, Robbins RJ, Collins TM, Dangles O. The influence of phenolic acyl groups on the color of purple sweet potato anthocyanins and their metal complexes. *Dye Pigment.* 2021 Feb 1;185:108792.
 22. SAITO N, ABE K, HONDA T, TIMBERLAKE CF, BRIDLE P. Acylated delphinidin glucosides and flavonols from *Clitoria ternatea*. *Phytochemistry.* 1985;24(7):1583–6.
 23. Terahara N, Oda M, Matsui T, Osajima Y, Saito N, Toki K, et al. Five new anthocyanins, ternatins A3, B4, B3, B2, and D2, from *Clitoria ternatea* flowers. *J Nat Prod.* 1996 Feb;59(2):139–44.
 24. Terahara N, Toki K, Saito N, Honda T, Matsui T, Osajima Y. Eight new anthocyanins, ternatins C1-C5 and D3 and preternatins A3 and C4 from young *Clitoria ternatea* flowers. *J Nat Prod.* 1998 Nov;61(11):1361–7.
 25. Terahara N, Saito N, Honda T, Toki K, Osajima Y. Further structural elucidation of the anthocyanin, deacylternatin, from *Clitoria ternatea*. *Phytochemistry.* 1990 Jan 1;29(11):3686–7.
 26. Escher GB, Wen M, Zhang L, Rosso ND, Granato D. Phenolic composition by UHPLC-Q-TOF-MS/MS and stability of anthocyanins from *Clitoria ternatea* L. (butterfly pea) blue petals. *Food Chem.* 2020 Nov 30;331:127341.
 27. Mukherjee PK, Kumar V, Kumar NS, Heinrich M. The Ayurvedic medicine *Clitoria ternatea*—From traditional use to scientific assessment. *J Ethnopharmacol.* 2008 Dec 8;120(3):291–301.
 28. Ha VTN, Le NTH. Extraction of anthocyanins from *Clitoria ternatea* L. petals in Vietnam and determination of its antioxidant and antimicrobial activities. *Jordan J Pharm Sci.* 2022;15(2):145–57.
 29. Mushtaq Z, Khan U, Seher N, Shahid M, Shahzad MT, Bhatti AA, et al. Evaluation of antimicrobial, antioxidant and enzyme inhibition roles of polar and non-polar extracts of *Clitoria ternatea* seeds. *J Anim Plant Sci.* 2021 Oct 1;31(5):1405–18.

30. Minelko M, Gunawan AG, Ali S, Suwanto A, Yanti. Protein extracted from *Clitoria ternatea* modulates genes related to diabetes in vivo. *Int Food Res J*. 2020;27(4):610–7.
31. Escher GB, Marques MB, do Carmo MAV, Azevedo L, Furtado MM, Sant’Ana AS, et al. *Clitoria ternatea* L. petal bioactive compounds display antioxidant, antihemolytic and antihypertensive effects, inhibit α -amylase and α -glucosidase activities and reduce human LDL cholesterol and DNA induced oxidation. *Food Res Int*. 2020 Feb 1;128:108763.
32. Nithianantham K, Shyamala M, Chen Y, Latha LY, Jothy SL, Sasidharan S. Hepatoprotective potential of *Clitoria ternatea* leaf extract against paracetamol induced damage in mice. *Molecules*. 2011 Dec;16(12):10134–45.
33. Escher GB, Wen M, Zhang L, Rosso ND, Granato D. p. *Food Chem*. 2020 Nov 30;331:127341.
34. Shahidi F, Ambigaipalan P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects – A review. *J Funct Foods*. 2015 Oct 1;18:820–97.
35. Daisy P, Rajathi M. Hypoglycemic effects of *Clitoria ternatea* Linn. (Fabaceae) in alloxan-induced diabetes in rats. *Trop J Pharm Res*. 2009;8(5):393–8.
36. Borikar SP, Kallewar NG, Mahapatra DK, Dumore NG. Dried flower powder combination of *Clitoria ternatea* and *Punica granatum* demonstrated analogous anti-hyperglycemic potential as compared with standard drug metformin: In vivo study in Sprague Dawley rats. *J Appl Pharm Sci*. 2018 Nov 1;8(11):75–9.
37. Verma PR, Itankar PR, Arora SK. Evaluation of antidiabetic antihyperlipidemic and pancreatic regeneration, potential of aerial parts of *Clitoria ternatea*. *Rev Bras Farmacogn*. 2013;23(5):819–29.
38. Chusak C, Thilavech T, Henry CJ, Adisakwattana S. Acute effect of *Clitoria ternatea* flower beverage on glycemic response and antioxidant capacity in healthy subjects: A randomized crossover trial. *BMC Complement Altern Med*. 2018 Jan 8;18(1).
39. Rhee SY, Kim YS. The role of advanced glycation end products in diabetic vascular complications. *Diabetes Metab J*. 2018 Jun 1;42(3):188–95.
40. Prasad C, Davis KE, Imrhan V, Juma S, Vijayagopal P. Advanced Glycation End Products and Risks for Chronic Diseases: Intervening Through Lifestyle Modification. Vol. 13, *American Journal of Lifestyle Medicine*. SAGE Publications Inc.; 2019. p. 384–404.
41. Chayaratanasin P, Adisakwattana S, Thilavech T. Protective role of *Clitoria ternatea* L. flower extract on methylglyoxal-induced protein glycation and oxidative damage to DNA. *BMC Complement Med Ther*. 2021 Dec 1;21(1).

42. Hou DX, Fujii M, Terahara N, Yoshimoto M. Molecular mechanisms behind the chemopreventive effects of anthocyanidins. Vol. 2004, Journal of Biomedicine and Biotechnology. Hindawi Publishing Corporation; 2004. p. 321–5.
43. Djeridane A, Yousfi M, Nadjemi B, Boutassouna D, Stocker P, Vidal N. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. Food Chem. 2006 Aug 1;97(4):654–60.
44. Shyam kumar B, Bhat KI. In-vitro cytotoxic activity studies of *Clitoria ternatea* Linn flower extracts. Int J Pharm Sci Rev Res. 2011 Jan;6(2):120–1.
45. Permatasari HK, Nurkolis F, Gunawan W Ben, Yusuf VM, Yusuf M, Kusuma RJ, et al. Modulation of gut microbiota and markers of metabolic syndrome in mice on cholesterol and fat enriched diet by butterfly pea flower kombucha. Curr Res Food Sci. 2022 Jan 1;5:1251–65.
46. Chusak C, Henry CJ, Chantarasinlapin P, Techasukthavorn V, Adisakwattana S. Influence of *Clitoria ternatea* flower extract on the in vitro enzymatic digestibility of starch and its application in bread. Foods. 2018 Jul 1;7(7).
47. Yanti, Setiawan T, Lay BW. *Clitoria ternatea* ethanolic extract prevents dental caries via inhibiting *Streptococcus mutans* growth and quorum sensing. Food Res. 2021;5(2):492–7.
48. Jeyaraj EJ, Nathan S, Lim YY, Choo WS. Antibiofilm properties of *Clitoria ternatea* flower anthocyanin-rich fraction towards *Pseudomonas aeruginosa*. Access Microbiol. 2022 Apr 26;4(4).
49. Koshy RR, Koshy JT, Mary SK, Sadanandan S, Jisha S, Pothan LA. Preparation of pH sensitive film based on starch/carbon nano dots incorporating anthocyanin for monitoring spoilage of pork. Food Control. 2021 Aug 1;126.
50. Monteiro JAV. Agroecological production of flowers of the butterfly bean (*Clitoria ternatea* L.), gastronomic innovation and conversion of residential lawn into vegetable garden as a fight against the social isolation of Covid-19 . Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro; 2021. Available from: <https://tede.ufrjr.br/jspui/handle/jspui/5520>

Capítulo 12

Doi.org/10.53934/9786599965814-12

AÇÃO ANTIMOCROBIANA DO ÓLEO ESSENCIAL DE GENGIBRE

Monica Aparecida da Silva *; Michelle Carlota Gonçalves ; Anderson Henrique Venâncio ; Bruna Azevedo Balduino ; Roberta Hilsdorf Piccoli 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: mondiga25@gmail.com

Resumo: Os óleos essenciais (OE) de especiarias são eficientes antibacterianos naturais exibindo efetividade no controle de microrganismos deteriorantes e patogênicos de origem alimentar. Tais propriedades têm sido intensamente estudadas para a conservação de alimentos por ir de encontro a crescente conscientização popular sobre os riscos à saúde ligados ao consumo de conservantes alimentares artificiais químicos. Assim, o objetivo deste estudo foi determinar a concentração mínima bactericida (CMB) do OE de gengibre sobre as cepas ATCC 7644 e ATCC 15313 de *Listeria monocytogenes*. As CMBs dos OE foram determinadas pela técnica de microdiluição em caldo, em placas de poliestireno de 96 cavidades. O óleo essencial foi diluído em caldo de Triptona de Soja (TSB) contendo 0,6% de extrato de levedura e 0,5% de Tween 80, obtendo concentrações de 4 a 0,03%. Alíquotas de 100 µL da solução do óleo foram adicionadas ao primeiro poço de cada linha, contendo 100 µL de TSB/EL, e diluídas serialmente para obtenção das concentrações acima descritas. Alíquotas de 10 µL da cultura, contendo 10⁸ UFC/mL foram inoculadas e as microplacas foram seladas e incubadas a 37 °C por 24 h. Após esse tempo, alíquotas foram semeadas em placas com ágar de Triptona de Soja, contendo 0,6% de extrato de levedura (TSA/EL) e incubadas a 37 °C por 24h. ao CMB do óleo essencial de gengibre foi de 4,0% para ambas as cepas da bactéria, indicando um potencial bactericida no controle de *Listeria monocytogenes*. Entretanto, esta é uma CMB alta, podendo influenciar em características sensoriais quando aplicado diretamente em alimentos, porém, novos estudos são necessários para avaliar a utilização do óleo essencial pela indústria alimentícia como um conservante natural alimentar.

Palavras-chave: antibacteriano; conservante natural; especiarias; *Listeria monocytogenes*

Abstract: The essential oils (EO) of spices are efficient natural antibacterials exhibiting effectiveness in the control of spoilage and pathogenic microorganisms of food origin. Such food preservation properties have been intensively studied in line with the growing popular awareness of the health risks linked to the consumption of artificial chemical food preservatives. Thus, the aim of this study was to determine the minimum bactericidal concentration (MBC) of ginger EO on *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 and ATCC 15313 strains. The MBC was determined by the broth microdilution technique, in 96-well polystyrene plates. The essential oil was diluted in TSB containing 0.6% of yeast extract and 0.5% of Tween 80, obtaining concentrations from 4 to 0.03%. Aliquots of 100 µL of the oil solution were added to the first well of each line, containing 100 µL of TSB/EL, and serially diluted to obtain the concentrations described above. 10 µL aliquots of the culture, containing 10⁸ CFU/mL were inoculated and the microplates were sealed and incubated at 37°C/24 h. Aliquots were seeded on plates with TSA/EL and incubated at 37°C/24h. Ginger essential oil showed 4.0% MBC for both bacterial strains, indicating a bactericidal potential in the

control of *Listeria monocytogenes*. However, this is a high MBC, which may influence sensory characteristics when applied directly to food, however, further studies are needed to evaluate the use of essential oil by the food industry as a natural food preservative.

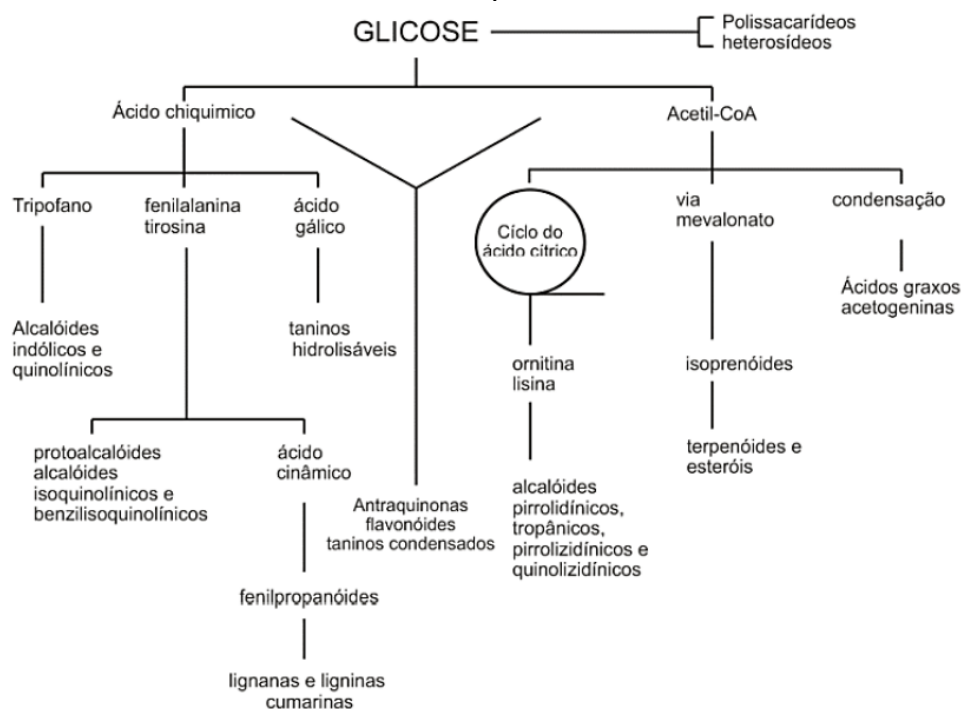
Key Word: anti-bacterial; natural preservative; spices; *Listeria monocytogenes*

INTRODUÇÃO

Óleos essenciais (OEs) são reconhecidos como os compostos biológicos e ativos de plantas, como as especiarias, compondo de 1 a 17% do extrato desta planta. Em maioria, trata-se de substâncias lipofílicas, com algumas exclusões à compostos que possuem capacidade de solubilizar em água, podendo ser separados em grupos: monoterpenos, ácidos fenólicos, alcaloides, flavonoides, carotenoides e aldeídos (1).

Os agentes antimicrobianos naturais e sustentáveis surgem para suprir a exigência de consumidores que almejam a substituição dos conservantes alimentares tradicionais. O OEs de especiarias são geralmente classificados como atóxicos e possuem eficiências comprovada sobre os microrganismos, tanto in vitro como in vivo. Têm origem a partir do metabolismo de flores, folhas, raízes, cascas, frutos e sementes de diversas plantas de especiarias, formando uma combinação complexa e volátil, na maioria dos casos, sendo denominado de óleo essencial ou aromático, como é indicado na Figura 1 (2).

Figura 1– Ciclo biossintético de metabólitos secundários em plantas.



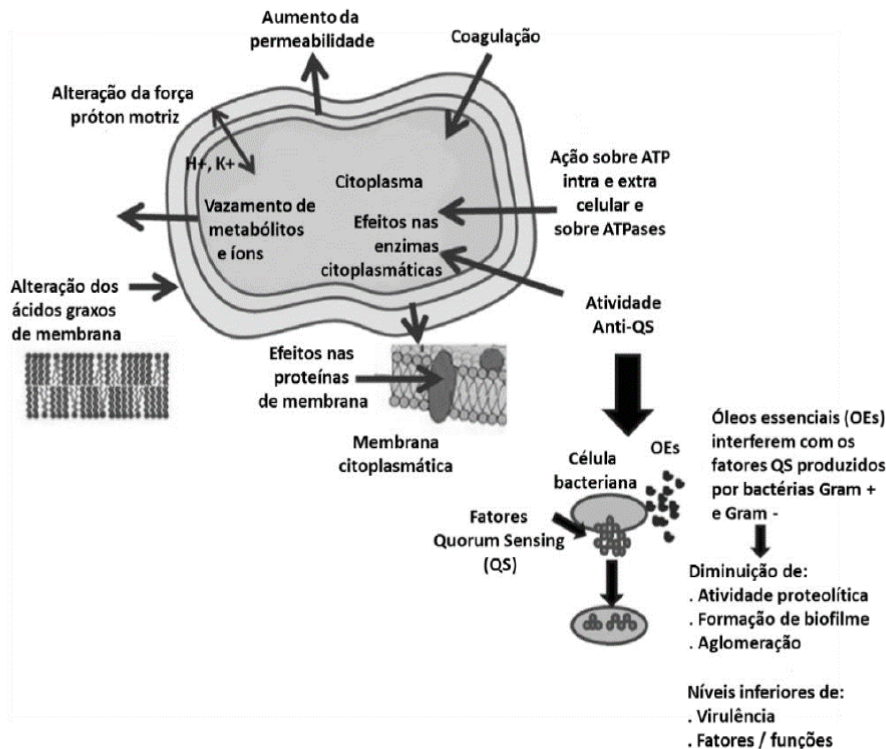
Fonte: Santos, 2000.

Quando presentes em alimentos, os microrganismos podem deteriorá-los ou serem causadores de doenças, sendo assim denominados como microrganismos patogênicos. O uso de conservantes químicos dentro da faixa definida pode garantir a segurança alimentar. Mas, a extensão exacerbada do uso destes conservantes químicos, pode potencializar um risco iminente à saúde humana. Tal fato é uma condição desafiadora, pois a indústria de alimentos

tem se valido cada vez mais da utilização de agentes de conservação e antimicrobianos artificiais para inativar ou inibir o crescimento de microrganismos patogênicos e deteriorantes. Comparados aos conservantes artificiais, os óleos essenciais atingem ação antimicrobiana semelhante, no entanto, se sobressaem em seus aspectos de segurança para o consumo humano (1).

Os OEs possuem destaque por sua atividade bactericida sobre bactérias patogênicas e ação antifúngica. Dentre as plantas que apresentam essas substâncias, com concentrações baixas de óleo essencial (OE) e sabor suave, destaca-se o curry, kaempferia, louro, romã, gergelim, manga e ajowan; de aroma picante, é possível citar a pimenta, pimentão, gengibre, alho, cebola, asafetida, capim- limão, galangal maior e mostarda preta e como especiarias naturais de sabor forte, sobressaem o cravo, anis estrelado, cardamomo, erva-doce, cássia, orégano, tomilho, noz-moscada, aipo, coentro, alcaravia, endro e manjeriço, dentre outros, sendo estes os três principais tipos de plantas de especiarias. Os mecanismos de ação dos OEs (Figura 2) e seus compostos sobre os microrganismos são diversificados, podendo agir em diferentes alvos celulares e inibir a produção de toxinas (1, 4, 5).

Figura 2- Alvos de ação dos óleos essenciais nas células bacterianas.



Fonte: Adaptado de Nazzaro et al., 2013.

Dentre os condimentos vegetais e seus derivados estudados a fim de evitar a oxidação e deterioração dos alimentos, tem destaque o OE de gengibre (*Zingiber officinale*). Predomina em sua composição como composto majoritário, o monoterpreno oxigenado geranial, em concentrações variáveis, porém em torno de 25%, além de poder apresentar como constituintes o neral, o 1,8-cineol, geraniol, acetato de geranila e o monoterpreno bicíclico, canfeno, quando extraídos diretamente da planta ou predominar o alfa-zingibereno, seguido por beta-sesquifelandreno, tudo a depender da origem da planta (6).

A atuação dos compostos antimicrobianos dos óleos essenciais, pode ser mais bem evidenciada sobre bactérias Gram-positivas do que sobre bactérias Gram-negativas, em razão de sua parede celular ser rica em polissacarídeos, fator inibitório a penetração das substâncias antimicrobianas. Dentre as bactérias Gram-positivas, está a bactéria *L. monocytogenes*, capaz de causar a doença listeriose de letalidade em torno de 20-30% entre os acometidos. Esse e outros microrganismos patogênicos podem ser inibidos por óleos essenciais em virtude do impacto antimicrobiano propiciado por moléculas biologicamente ativas da composição dos OEs, podendo exercer sua funcionalidade antimicrobiana e inseticida na composição de embalagens, ou ainda serem utilizados na preservação de alimentos, alcançando o padrão de excelência de ação exigido pelas indústrias (7, 8, 9).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade do óleo essencial de gengibre em inibir o crescimento de duas cepas de *Listeria monocytogenes*, ATCC 7644 e ATCC 15313 e determinar a sua concentração mínima bactericida (CMB).

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Laboratório de Microbiologia de Alimentos, no Departamento de Ciências dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

O óleo essencial de gengibre (*Zingiber officinale*) foi adquirido da FERQUIMA® Indústria e Comércio Ltda (Brasil).

As cepas empregadas foram *L. monocytogenes* ATCC 7644 e *L. monocytogenes* ATCC 15313, pertencentes ao Laboratório de Microbiologia de Alimentos/ DCA-UFLA, adquiridas da Seção de Coleção de Culturas da Divisão de Biologia Médica do Instituto Adolfo Lutz, em São Paulo- SP.

As culturas estoques foram mantidas congeladas em meio de congelamento (glicerol 15%, peptona bacteriológica 0,5%, extrato de levedura 0,3%, NaCl 0,5% e água destilada), até a sua utilização. Anterior ao seu uso foi confirmada a pureza das culturas, empregando-se o equipamento MALDI-TOF MS Biotyper (Bruker).

A reativação das cepas foram realizadas inoculando-se alíquotas de 1 mL das culturas estoque em tubo de ensaio, contendo 10 mL de caldo de triptona de soja acrescido de extrato de levedura 0,6% (TSB- EL) e incubação a 37 °C por 24 horas.

Após esse período, alíquota de 100 µL das culturas foram transferidas para 100 mL de TSB-EL e incubadas a 37 °C até a obtenção de cerca de 10⁸ UFC mL⁻¹.

A padronização do inóculo foi realizada por curva de crescimento. A densidade óptica (DO 600nm) foi monitorada juntamente com a contagem em placa de ágar triptona de soja (TSA) suplementado com 0,6% (m/v) de extrato de levedura (EL). A absorbância encontrada foi 0,385 para *L. monocytogenes* ATCC 7644 e 0,135 para *L. monocytogenes* ATCC 15313, à concentração de 10⁸ UFC mL⁻¹.

A concentração mínima bactericida do óleo essencial foi determinada empregando-se a técnica de microdiluição em caldo com adaptações, utilizando placas de poliestireno de 96 cavidades (10). O óleo essencial foi homogeneizados em TSB-EL, acrescido de Tween 80 (0,5%). Foram avaliadas as concentrações de 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,12; 0,06; 0,03 % (v / v). Alíquotas de 100 µL de solução do óleo foram adicionadas aos poços contendo 100 µL de TSB/EL e assim sucessivamente até as concentrações serem atingidas e alíquotas de 10 µL da cultura, contendo 10⁸ UFC mL⁻¹ foram inoculadas e as microplacas foram seladas e incubadas a 37 °C/24 h. Após esse período, foi realizado o plaqueamento de alíquotas das culturas em TSA-EL e incubadas a 37 °C por 24 horas. Foi realizado um controle negativo, contendo TSB-EL acrescido de 0,5% de Tween 80 e o óleo essencial. A CMB foi

considerada a menor concentração de óleo essencial onde não se observou crescimento em placas das bactérias. O experimento foi realizado em triplicata e três repetições.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do exposto na Tabela 1, é possível observar que tanto para a cepa ATCC 7644, quanto para a cepa ATCC 15313, o óleo essencial de gengibre apresentou a CMB de 4%. Embora tenha apresentado ação anti-listerial, a CMB obtida é considerada elevada, podendo alterar o sabor e odor dos alimentos quando aplicados em matrizes alimentares (11).

Tabela 1. Concentração mínima bactericida (CMB) do óleo essencial de gengibre

Concentração do óleo essencial de gengibre (%)	Crescimento em placas ATCC 7644	Crescimento em placas ATCC 15313
4	-	-
2	+	+
1	+	+
0,5	+	+
0,25	+	+
0,125	+	+
0,062	+	+
0,031	+	+

(+) Presença de *Listeria monocytogenes*; (-) Ausência de *Listeria monocytogenes*.

Por ser rico em monoterpenóides hidrofóbicos, o óleo essencial de gengibre pode ter exercido ação bactericida através do seu deslocamento da fase aquosa, rumo às estruturas da membrana celular. Estando concentrado no local, os compostos dos OEs na membrana citoplasmática das células bacterianas, poderão interferir na permeabilidade da bicamada lipídica, permitindo o extravasamento dos íons, redução da concentração do ATP e alteração do pH interno, além da redução do potencial elétrico da célula, inviabilizando a sua funcionalidade correta (6).

Cutrim et al. (12) ao testarem o óleo essencial de gengibre sobre bactérias, dentre elas uma Gram-positiva, *E. coli*, também detectaram inibição moderada ao microrganismo.

Reis et al. (13), ao avaliarem propriedades antibacterianas de diferentes OEs contra patógenos, obtiveram como resultado a ação efetiva do óleo essencial de gengibre apenas contra *L. monocytogenes*, porém somente nas três concentrações mais altas, sendo estas semelhantes à deste trabalho (3,0; 3,5 e 4,0%). Isso ocorreu mesmo diante de uso de técnicas diferentes pelos autores, que usaram o método de difusão em ágar– técnica do poço, com halos de inibição que variaram de 7 a 14mm, sendo os menores diâmetros referentes as menores concentrações do OE. Desse modo fica evidente a atividade inibitória do óleo, porém de potencial fraco.

CONCLUSÕES

Verificou-se que o óleo essencial de gengibre possui ação bactericida sobre as células das cepas de *Listeria monocytogenes* ATCC 7644 e ATCC 15313. A capacidade do óleo essencial de inibir o crescimento bacteriano permite que ele possua potencial para ser utilizado como antimicrobiano natural na indústria de alimentos, havendo, no entanto, a necessidade de mais estudos para adequar a forma de uso, uma vez que a concentração

mínima bactericida apresentada é alta. Assim cabe observar o efeito do óleo essencial de gengibre nas características sensoriais e na vida de prateleira dos produtos em que for aplicado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Federal de Lavras (UFLA), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas-Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

REFERÊNCIAS

1. Li Y, Erhunmwunsee F L, Yang M K, Zheng W, Tian J. Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry. *Food Chemistry*. 2022; 382: 1-14.
2. Zhang, J, Zhang, M, Ju, R, Chen K, Bhandari B, Wang H. Advances in efficient extraction of essential oils from spices and its application in food industry: A critical review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022: 1-20.
3. Santos R I. Metabolismo básico e origem dos metabólitos secundários. In: SIMÕES, C. M. O. et al. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 4. ed. Porto Alegre/Florianópolis: Editora da universidade; 2000.
4. Nazzaro F, Fratianni F, Martino L, Coppola R, Feo V. Effect of Essential Oils on Pathogenic Bacteria. *Pharmaceuticals (Basel, Switzerland)*. 2013; 6: 1451-1574.
5. Swamy MK, Akhtar MS, Sinniah UR. Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: An updated review. *Evidence-based Complementary and Alternative Medicine*. 2016; 1: 1–21.
6. Andrade MA, Cardoso MG, Batista LR, Mallet ACT, Machado SMF. Essential oils of *Cinnamomum zeylanicum*, *Cymbopogon nardus* and *Zingiber officinale*: composition, antioxidant and antibacterial activities. *Revista Ciência Agronômica*. 2012; 43: 399-408.
7. Budiati, T.; Y Wibisono, Y.; Pambayun, R. A.; Fahrezy, M. F.; Ariyani, R.; Kurniawati, E.; Suryaningsih, W; Yudiastuti, .; S. O. N.; Bakri, A. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020; 411: 1-5.
8. Burt SA, Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: A review. *International Journal of Food Microbiology*. 2004; 3: 223- 253.
9. Das S, Gazdag Z, Szente L, Meggyes M, Horváth G, Lemli B, Kunsági-Máté S, Kuzma M, Kőszegi T. Antioxidant and antimicrobial properties of randomly methylated β cyclodextrin - captured essential oils. 2019; 278: 305- 313.

10. CLSI Methods for Antimicrobial Susceptibility of Anaerobic Bacteria. Wayne: Clinical and laboratory standards institute; 2019. (CLSI document M100).
11. Silva MA, Venâncio AH, Balduino BA, Piccoli, RH. Atividade Bactericida de Conservantes Naturais Contra *Listeria Monocytogenes*. In: Anais do I Simpósio Online Sulamericano de Tecnologia, Engenharia e Ciência de Alimentos. Anais...Diamantina (MG) Online. 2022: 1-4. [acesso em 9 Jan 2023]. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/tecali2021/454721-ATIVIDADE-BACTERICIDA-DE-CONSERVANTES-NATURAIS-CONTRA-LISTERIA-MONOCYTOGENES>>.
12. Cutrim ESM, Teles AM, Mouchrek AN.; Mouchrek Filho VE, Everton GO. Evaluation of Antimicrobial and Antioxidant Activity of Essential Oils and Hydroalcoholic Extracts of *Zingiber officinale* (Ginger) and *Rosmarinus officinalis* (Rosemary). *Rev. Virtual Quim.* 2019; 11: 60-81.
13. Reis JB, Figueiredo LA, Castorani GM, Veiga, SMOM. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. *Braz. J. Hea. Ver.* 2020; 3: 342- 363.

Capítulo 13

Doi.org/10.53934/9786599965814-13

LUTEÍNA: EXTRAÇÃO, BIODISPONIBILIDADE, POTENCIAL BIOATIVO E APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

Tatiane Teixeira Tavares *; Ana Flávia Coelho Pacheco ; Paulo Henrique Costa Paiva 

*Autor correspondente (Corresponding author) – tatetavares@yahoo.com.br

Dra. Tatiane Teixeira Tavares, Bolsista de pesquisa nível I do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Prof. Dra. Ana Flávia Coelho Pacheco, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG e Membro do Laboratório de Inovação no Processamento de Alimentos – LIPA/DTA/UFV.

Prof. Dr. Paulo Henrique Costa Paiva, Professor/pesquisador do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Resumo: A luteína é um carotenoide com ampla possibilidade de aplicação nas indústrias de alimentos e farmacêutica, pois apresenta uma cor atrativa e potenciais benefícios para a saúde humana devido às suas atividades anti-inflamatória e antioxidante. Seu consumo diário diminui o risco de desenvolvimento de diversos tipos de câncer, doenças cardiovasculares e, principalmente, doenças da visão relacionadas à idade, como degeneração macular e catarata. Este pigmento não é sintetizado pelo organismo humano, sendo encontrado principalmente em vegetais de folhas verdes como espinafre, brócolis e couve, além da gema de ovo, caqui, milho, dentre outros alimentos. Apesar dos seus benefícios, a aplicação da luteína na tecnologia de alimentos e nutracêuticos é limitada devido à sua baixa solubilidade aquosa e instabilidade em diferentes condições de processamento. Estudos reportam que o consumo diário da luteína para garantir os benefícios à saúde humana é de aproximadamente 6 mg, fato que impulsiona a comunidade científica a aumentar os esforços visando otimizar a aplicação deste corante bioativo em diversos alimentos e fármacos.

Palavras-chave: alimento funcional; atividade biológica; carotenoide; pigmento bioativo

Abstract: Lutein is a carotenoid with a wide possibility of application in the food and pharmaceutical industries, as it presents potential health benefits due to its anti-inflammatory and antioxidant properties. Its daily intake decreases the risk of developing different types of cancer, cardiovascular diseases and specially age-related vision diseases, such as macular degeneration and cataracts. This pigment is not synthesized by the human organism, being found mainly in green leafy vegetables such as spinach, broccoli, cabbage, it can also be found in egg yolk, persimmon, corn, among other foods. Despite its benefits, the application of lutein in food technology and nutraceuticals is limited due to its low aqueous solubility and instability under different processing conditions. Studies report that the daily intake of lutein to ensure significant health benefits to humans is approximately 6 mg, this is a fact that drives the scientific community to increase the effort aimed at optimizing the application of this bioactive dye in various foods and drugs.

Key Word: functional food; biological activity; carotenoid; bioactive pigment
INTRODUÇÃO

Os carotenoides são pigmentos naturais lipofílicos e estão entre os componentes mais importantes nos alimentos por conferirem cores nos tons de amarelo e vermelho, característica que agrega boa aceitação. Há relatos na literatura de aproximadamente 800 carotenoides, os quais estão presentes em todos os organismos fotossintetizantes. Tais compostos são encontrados em frutos do mar de coloração amarela/alaranjada, flores de calêndula, frutas como melancia, caqui e manga, gema de ovo e vegetais de folha verde escura. No que tange a saúde humana, estão entre os fitoquímicos bioativos creditados na redução do risco de doenças degenerativas, como as cardiovasculares, câncer, catarata e degeneração macular, além de fortalecerem o sistema imunológico (1). Os carotenoides apresentam estrutura química bastante diversificada, fator que confere várias funções benéficas aos organismos que dependem essencialmente das propriedades físico-químicas relacionadas a cada molécula (2,3). Além disso, possuem ação antioxidante devido à capacidade de sequestrar o oxigênio e reagir com radicais livres. Não obstante, outros mecanismos também podem ser encontrados, como a absorção de luz e a filtração de luz azul para garantia da saúde ocular (4).

Devido à crescente busca por alimentos saudáveis e naturais, juntamente com o aumento no consumo de suplementos dietéticos, é esperado que as vendas de carotenoides ultrapassem os dois milhões de dólares até o ano de 2031. Estima-se que o mercado global de carotenoides apresente um crescimento constante de cerca de 5% durante o período de 2021 a 2031. Dentre os diversos carotenoides, a luteína merece destaque nesse mercado, pois é responsável por cerca de 23% desse percentual de crescimento (5).

A luteína ((3R,3'R,6'R)- β,ϵ -carotene-3,3'-diol) faz parte de um grupo de carotenoides pertencentes à classe das xantofilas por possuir uma hidroxila em cada um dos anéis ciclohexanos terminais de sua estrutura, apresentando coloração amarela/laranja e fórmula molecular $C_{40}H_{52}O_2$ (Figura 1). Tal composto não pode ser sintetizado pelos animais, entretanto está presente no reino vegetal, sendo encontrado em plantas, bactérias e algas. Está presente principalmente em vegetais verdes escuros como espinafre, couve e brócolis, além de alimentos de coloração amarela/laranja, como gema de ovo, milho, caqui e manga (6, 7). Nos seres humanos, encontra-se principalmente na mácula da retina, podendo ser adquirida através da dieta diária (8). Segundo a *National Academies of Sciences, Engineering and Medicines*, o consumo diário de referência da luteína que garante os benefícios para a saúde humana é de aproximadamente 6 mg, valor bem superior ao consumo médio de um americano adulto, cujo média é de apenas 1-2 mg (9), demonstrando assim a necessidade da suplementação desse composto na dieta.

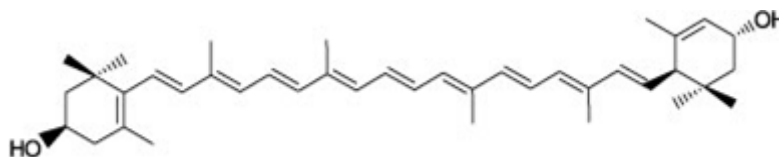


Figura 1- Estrutura química da luteína. Fonte: Paiva et al (2020)

BIOSSÍNTESE

A luteína é um carotenoide derivado do terpeno, o qual é responsável pela construção de grandes cadeias carbônicas com extensa variedade de metabólitos secundários para o organismo. Os terpenóides são gerados a partir de blocos de 5 carbonos (C5), por meio da via do mevalonato (MVA). Três moléculas de acetil-CoA são complexadas para formar o mevalonato e, conseqüentemente, o principal bloco C5, a molécula de pirofosfato de isopentenilo (IPP), o qual é isomerizado em pirofosfato de dimetilalilo (DMAPP), conforme apresentado na Figura 2. Uma alternativa de síntese para formação dos blocos IPP e DMAPP independente do MVA é conhecida como via do 2-C-metilD-eritriol-4-fosfato (MEP). Esta acontece nos plastídios de bactérias fotossintetizantes, cianobactérias e microalgas, formando IPP a partir de piruvato e gliceraldeído-3-fosfato, sendo responsável pela formação da maioria dos terpenóides nestes organismos (10).

Subseqüente à formação do bloco C5, há complexação dessas subunidades pelas enzimas através da condensação cabeça-cauda, formando assim moléculas maiores, como o geranyl pirofosfato (C10), farnesil pirofosfato (C15) e geranylgeranyl pirofosfato (C20). Estas são utilizadas como blocos para formação de compostos com cadeia carbônica maiores, como o fitoeno (C40), gerado pela condensação de duas moléculas de geranyl pirofosfato (GGPP) através da enzima *phytoene synthase* (PSY), enquanto o fitoeno sofre uma variedade de modificações com a finalidade de formação de novos carotenoides, como o licopeno, que por sua vez sofre ciclização (11).

As enzimas licopeno ciclases são responsáveis pela ciclização do licopeno e β -caroteno. Nesse caso, é necessário a ciclização na conformação β em ambas as extremidades da molécula, sendo catalisada pela enzima β -cyclase (LCY-b), enquanto para a formação do α -caroteno há necessidade da ciclização de um anel na conformação β e outro ϵ pelas enzimas LCY-b e LYC-e (11).

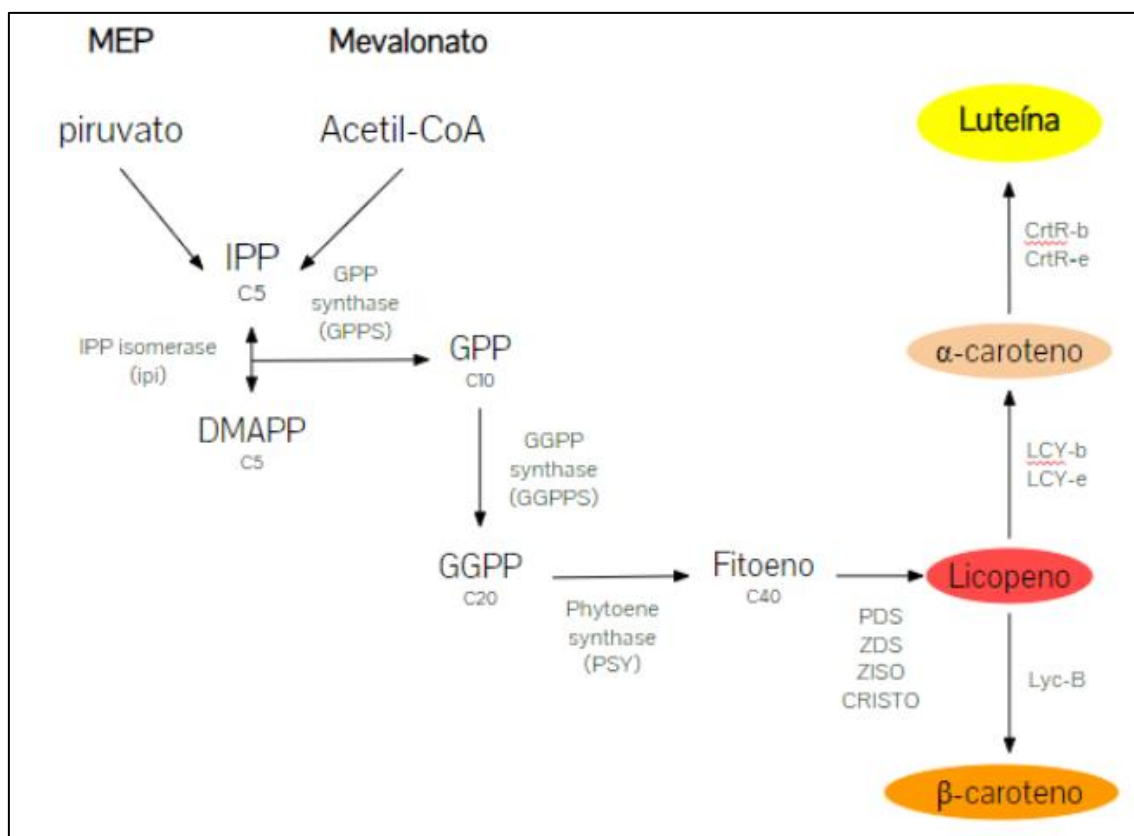


Figura 2- Via metabólica geral de produção de carotenoides. Fonte: Batista (2022)

A produção comercial da luteína através do método de síntese química possui a desvantagem de ter um baixo rendimento global, resultando em elevados custos de produção. Há relatos na literatura da produção de luteína a partir do processo biotecnológico, incluindo a extração de microalgas. Assim, o seu mercado em crescimento, junto à busca por produtos naturais, torna esse carotenoide um produto de grande interesse para a comunidade científica (12).

EXTRAÇÃO

A produção industrial de luteína ocorre através da extração de flores de calêndula, processo com alto custo principalmente pela necessidade de uma grande área para plantio e sazonalidade. Entretanto, ainda é a maneira economicamente mais viável para sua obtenção. A fim de melhorar o processo de produção e aumentar a sua comercialização, novas abordagens estão sendo investigadas (12, 13).

As microalgas são microrganismos fotossintetizantes que vêm apresentando uma alternativa biotecnológica para produção de luteína, principalmente por crescerem mais rapidamente que as flores de calêndula e demandar uma menor área de produção. Todavia, apresenta diversos desafios para sua produção tornar-se realidade, como a utilização de grande quantidade de solvente orgânico e a alta demanda de energia, o que encarece o processo (14).

BIODISPONIBILIDADE

A biodisponibilidade da luteína é baixa (aproximadamente 10-15%) e variável devido à pouca solubilidade em fase aquosa (34,2 mg L⁻¹), sendo dependente da natureza do solvente e/ou da molécula carreadora (15). Além disso, é instável em determinadas condições de processamento, como pHs extremos, temperatura elevada, presença de luz e oxigênio, fatores que limitam a sua aplicabilidade nas indústrias de alimentos e farmacêutica (16). Visando minimizar esses problemas, alguns estudos utilizando proteínas (albumina do soro bovino - BSA, albumina do soro humano - HSA e caseínas - CN) como moléculas carreadoras através da formação de nanoestruturas estáveis com a luteína (16, 17, 18, 19, 20) e outros carotenoides (21, 22, 23, 24) são reportados na literatura e apresentam resultados promissores (Tabela 1).

Tabela 1 - Estudos referentes à utilização de proteínas como moléculas carreadoras, através da formação de nanoestruturas estáveis com a luteína e outros carotenoides

Interação	Ano	Referência
Proteína-Luteína	2021	18
Proteína-Luteína	2020	17
Proteína-Luteína	2018	19
Proteína-Luteína	2018	20
Proteína-Luteína	2016	16
Proteína-β-caroteno	2021	21
Proteína-β-caroteno	2019	22
Proteína-β-caroteno	2018	23
Proteína- β-caroteno e Proteína-Astaxantina	2015	24

Sabe-se que as proteínas exercem o papel de transporte e proteção de componentes bioativos em alimentos funcionais devido à sua capacidade de formar complexos estáveis, evitando assim a fotodegradação e possível oxidação, o que torna necessário o aprofundamento dos estudos sobre a termodinâmica e cinética das interações proteína-carotenoide.

POTENCIAL BIOATIVO

A longa cadeia de carbonos formada por um sistema conjugado de ligações duplas e simples presentes na estrutura da luteína atribui as suas propriedades antioxidantes, enquanto os anéis ciclohexanos permitem a absorção do espectro de luz entre 400 e 500 nanômetros (25). Vários estudos têm demonstrado as atividades biológicas e farmacológicas da luteína, como anti-inflamatória, antioxidante, anticâncer, estímulo ao sistema imune, redução do risco de doenças relacionadas aos olhos e redução do risco de doenças cardiovasculares (Tabela 2).

Tabela 2 - Estudos referente às atividades biológicas e farmacológicas da luteína

Atividades biológicas da luteína	Ano	Referências
Problemas de visão (degeneração macular)	2020	26
Efeito antiplasmodial	2020	27
Doenças cardiovasculares	2020	28
Problemas de visão (degeneração macular)	2019	29

Problemas de visão (catarata)	2018	30
Anti-inflamatória	2017	31
Efeito neuroprotetor	2016	32
Alimento funcional	2016	33
Câncer	2002	34
Doenças cardiovasculares	2001	35

A suplementação com luteína pode aumentar sua presença no leite materno e no plasma da mãe, resultando em uma maior concentração de luteína plasmática em seus bebês. Segundo Jeon et. al. (36), o maior consumo de luteína promove o crescimento do cérebro e cognição, justificando a ingestão desse carotenoide na dieta das mães. A luteína dietética desempenha um papel significativo na visão e no desenvolvimento cognitivo em crianças, fatores que devem encorajar o consumo de alimentos como ovo, milho, couve e espinafre. Em idosos a concentração de luteína geralmente é menor (37), o que pode agravar doenças causadas pela senilidade, como doenças da visão e cardiovasculares.

APLICAÇÕES INDUSTRIAIS

A luteína apresenta um alto potencial como corante bioativo, o que vêm impulsionando as pesquisas com intuito de otimizar sua aplicação na indústria de alimentos, principalmente no setor de laticínios (38). De acordo com estudos de Sobral et. al. (39), a substituição do urucum por luteína na fabricação de queijo prato mostrou ser uma interessante opção tecnológica. O queijo prato com luteína teve aceitação sensorial similar ao queijo tradicionalmente adicionado de urucum. Além disso, os índices de proteólise (extensão e profundidade), pH e perfil de textura dos queijos não foram afetados durante a maturação, apesar da substituição do corante. Logo, o queijo Prato pode ser considerado uma matriz transportadora e protetora da luteína, pois a atividade antioxidante do corante também foi mantida ao longo da maturação.

Os carotenoides têm sido usados também como aditivos na alimentação de aves, com o objetivo de prover coloração às gemas dos ovos, sendo a classe das xantofilas (a qual encontra-se a luteína) as mais usadas, principalmente pelo fato de serem absorvidas e acumuladas no organismo (40).

Estudos corroboraram que cápsulas de luteína e zeaxantina presentes no mercado farmacêutico apresentaram uma significativa melhora na densidade óptica do pigmento macular, tanto em doentes com degeneração macular relacionada com a idade como em indivíduos saudáveis (41).

METODOLOGIAS

Para o presente artigo, foram realizadas buscas sistematizadas nas bases de dados *Science Direct*, Pubmed e Google Acadêmico, no mês de janeiro de 2023, por meio de descritores relacionados a carotenoides e luteína. Foram pré-selecionadas, inicialmente, 41 publicações, que foram avaliadas e finalmente escolhidas para discussão e síntese das informações.

CONCLUSÕES

A luteína é um carotenoide sintetizado industrialmente através de plantas e biotecnologicamente por microalgas. Está presente nos seres humanos principalmente na mácula da retina, podendo ser adquirida através da dieta diária. Tem sido considerada uma molécula promissora, com vários campos de aplicação, pois apresenta atividades biológicas e farmacológicas como anti-inflamatória, antioxidante, anticâncer, estímulo ao sistema imune, redução do risco de doenças relacionadas aos olhos e redução do risco de doenças cardiovasculares.

Para atender os anseios do mercado consumidor, que está sempre buscando alimentos saudáveis e naturais, diversas pesquisas vêm sendo realizadas nos últimos anos com objetivo de incluir a luteína como um ingrediente alimentar funcional. Apesar da luteína ser um corante lipofílico, o que a torna pouco solúvel em água e instável a diversas condições de processamento na indústria de alimentos, ela pode ser carregada por várias proteínas, como aquelas presentes no leite (tanto as proteínas do soro como as caseínas), o que a torna uma excelente candidata para substituir os corantes artificiais.

Resultados promissores acerca da formação de sistemas nanoestruturados que possibilitam um aumento da estabilidade e biodisponibilidade da luteína tem sido relatados, porém os estudos devem ser intensificados com o intuito de otimizar a aplicação da luteína nas indústria de alimentos e nutracêuticos, sem comprometer as suas atividades biológicas e ação de pigmentação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições que contribuíram diretamente para a execução desse trabalho, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG-ILCT).

REFERÊNCIAS

1. Nörnberg, M L, Pinheiro, N P, Do Nascimento T C, Fernades, A S, Nörnberg M F B L, Lopes E J, et al. Compostos bioativos em manteigas: carotenoides e ácidos graxos Bioactive compounds in butters: carotenoids and fatty acids. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, 2022, 8, 2, 10270-10288.
2. Sun, Z, Li, T., Zhou, Z G & Jiang, Y. Microalgae as a source of lutein: Chemistry, biosynthesis, and carotenogenesis. **Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology**. 10, 2016, 331.
3. Mesquita, S S, Teixeira, C M L, Servulo, E F C. Carotenoides: propriedades, aplicações e mercado. *Revista Virtual de Química*, 2017, 9, 2, 672-688.
4. Eisenauer, B, Natoli, S, Liew, G, Flood, V M. Lutein and zeaxanthin—food sources, bioavailability and dietary variety in age-related macular degeneration protection. *Nutrients*, 2017, 9, 120.

5. BCC Research (2023). The Global Market for Carotenoids [Internet, acesso em 7 de jan 2023]. Disponível em: https://www.factmr.com/report/1196/carotenoidsmarket?utm_source=adwords&utm_medium=ppc&gclid=CjwKCAiAh9qdBhAOEiwAvxIokwra8gB9xv2vaN9Iz6bbGw3P0s wLsXLIDUEJ2XIOkrGj87Yodud_xoCgFUQAvD_BwE
6. Fernandes, E J. Efeito da exposição de nanopartículas de luteína sobre o modelo experimental tipo doença de Parkinson em *Drosophila melanogaster* [Dissertação]. Uruguai: Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA); 2019.
7. Tan, T B, Yussof, N S, Faridah, A, Mirhosseini H, Nehdi, I A, Tan, C P. Forming a lutein nanodispersion via solvent displacement method: The effects of processing parameters and emulsifiers with different stabilizing mechanisms. *Food Chemistry*, 2016, 194, 416-423.
8. Perry, A, Rasmussen, H, Johnson, E J. Xanthophyll (lutein, zeaxanthin) content in fruits, vegetables and corn and egg products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 2009, 22, 1, 9–15.
9. Ranard, K M, Jeon, S, Mohn, E S, Griffiths, J C, Johnson, E J, Erdman, J J. Dietary guidance for lutein: consideration for intake recommendations is scientifically supported. *European Journal of Nutrition*, 2017, 56, 37–42.
10. Batista, B. *Chlorella sorokiniana* como biofábrica para produção de luteína: uma revisão a partir da engenharia metabólica. [Trabalho de Conclusão de Curso]. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos; 2022.
11. Quinlan, R F, Shumskaya, M, Bradbury, L M T, Beltran, J, Ma, C, Kennelly, E J, Wurtzel, E T. Synergistic interactions between carotene ring hydroxylases drive lutein formation in plant carotenoid biosynthesis. *Plant Physiology*. 2012, 160, 1, 204–214.
12. Saha, S K, Ermis, H, Murray P. Marine microalgae for potential lutein production. *Applied sciences*. 2020, 10, 6457.
13. Patel, A K, Vadrale, A P, Tseng, Y S, Chen, C W, Dong, C D, Singhanian, R R. Bioprospecting of marine microalgae from Kaohsiung Seacoast for lutein and lipid production. *Bioresource Technology*, 2022, 351, 126928.
14. Johnson, J J, Maras, J E, Rasmussen, H M, Tucker, K L. Intake of Lutein and Zeaxanthin Differ with Age, Sex, and Ethnicity. *Journal of the American Dietetic Association*. 2010, 110, 9, 1357– 1362.

15. Madaa, J, Choudhary, A N, Gyenwalee, S, Thoma S C. Lutein, a versatile phytonutraceutical: An insight on pharmacology, therapeutic indications, challenges and recent advances in drug delivery. *PharmaNutrition*, 2017, 5, 2, 64–75.
16. Yi, J, Fan, Y, Yokoyama, W, Zhang, Y, Zhao, L. Characterization of milk proteins-lutein complexes and the impact on lutein chemical stability. *Food Chemistry*, 2016, 200, 91–97.
17. Paiva, P H C, Coelho, Y L, Silva, L H M, Pinto, M s, Vidigal, M C T R, Pires, A C S. Influence of protein conformation and selected Hofmeister salts on bovine serum albumin/lutein complex formation. *Food Chemistry*. 2020, 305.
18. Qi, X, Xu, Duoxia, Zhu, J, Wang, S, Peng, J, Gao, W, Cao. Studying the interaction mechanism between bovine serum albumin and lutein dipalmitate: Multi-spectroscopic and molecular docking techniques. *Food Hydrocolloids*, 2021, 113, 1065513.
19. Chen, Y, Zhou, Y, Chen, M, Xie, B, Yang, J, Chen, J, Sun, Z. Isorenieratene interaction with human serum albumin: Multispectroscopic analyses and docking simulation. *Food Chemistry*, 2018, 258, 393–399.
20. Mora-Guitierrez, A, Attaie, M T G, Jung, Y, Woldesenbert, Marquez, S A. Complexes of lutein with bovine and caprine caseins and their impact on lutein chemical stability in emulsion systems: Effect of arabinogalactan. *Journal of Dairy Science*. 2018, 101, 1, 18–27.
21. Magalhães, O F, Paula, H M C, Rezende, J P, Coelho, Y L, Mendes, T A O, Silva, L H M, Pires, A C S. Energetic and molecular dynamic characterization of lysozyme/ β -carotene interaction. *Journal of Molecular Liquids*, 2021, 337, 116404.
22. Allahdad, Z, Varidi, M, Zadmard, R, Saboury, A, Haertle. Binding of β -carotene to whey proteins: Multi-spectroscopic techniques and docking studies. *Food Chemistry*. 2019. 277, 96–106.
23. Silva, C E L, Hudson, E A, Agudelo, A J P, Silva, L H M da, Pinto, M S, Hespanhos, M do C, Barros, F A R, Pires, A C dos S. β -Carotene and milk protein complexation: a thermodynamic approach and a photo stabilization study. *Food and Bioprocess Technology*. 2018, 11, 3, 610–620.
24. Li, X, Wang, G, Chen, D, Lu, Y. β -Carotene and astaxanthin with human and bovine serum albumins. *Food Chemistry*, 2015, 179, 213–221.

25. El-Agamey, A, Lowe, G M, McGarvey, D, Mortensen, A, Phillip, D M, Truscott, T G, Young, A J. Carotenoid radical chemistry and antioxidant/pro-oxidant properties. *Archives Of Biochemistry and Biophysics*, 2004, 430, 1, 37-48.
26. Sawa, M, Shunto, T, Nishiyama, I, Yokoyama, A, Shigeta, R, Miura, S, Kawasaki, R. Effects of lutein supplementation in Japanese patients with unilateral agerelated macular degeneration: the sakai lutein study. *Sci. Rep.* 2020, 10, 1.
27. Su, X.Z, Zhang, C, Joy, D A. Host-malaria parasite interactions and impacts on mutual evolution. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2020, 10.
28. Zaccara, G, Lattanzi, S, Cincotta, M, Russo, E. Drug treatments in patients with cardiac diseases and epilepsy. *Acta Neurol. Scand.* 2020, 142, 1, 37–49.
29. Feng, L, Nie, K, Jiang, H, Fan, W. Effects of lutein supplementation in agerelated macular degeneration. *PloS One*, 2019, 14, 12.
30. Buscemi, S, Corleo, D, Di Pace, F, Petroni, M L., Satriano, A, Marchesini, G. The effect of lutein on eye and extra-eye health. *Nutrients*. 2018, 10, 9.
31. Johnson, E J, Vishwanathan, R, Johnson, M A, Hausman, D B, Davey, A, Scott, T M, Poon, L.W et al. Relationship between serum and brain carotenoids, α - tocopherol, and retinol concentrations and cognitive performance in the oldest old from the Georgia centenarian study. *Journal of Aging Research*, 2013, 13.
32. Erdman, J, Smith, J, Kuchan, M, Mohn, E, Johnson, E, Rubakhin, S, Neuringer, M. Lutein and brain function. *Foods*. 2015, 4, 547–564.
33. Sobral, D, Bueno C R G, Machado, G M, De Paula, J J C, Martins, T V A, Nunes, N M, Pinto, M S. Can lutein replace annatto in the manufacture of Prato cheese LWT - *Food Science and Technology*, 2016, 68.
34. Heber, D, & Lu, Q Y. Overview of Mechanisms of Action of Lycopene *Experimental Biology and Medicine*, 2002, 227, 10 920–923.
35. Dwyer, J, H, Navab, M, Dwyer, K M, Hassan, K, Sun, P, Shircore, A, Fogelman, A M. Oxygenated carotenoid lutein and progression of early atherosclerosis: The Los Angeles atherosclerosis study. *Circulation*. 2001, 24, 2922–2927.
36. Jeon, S, Neuringer, M, Johnson, E E, Kuchan, M J, Pereira, S L, Johnson, E J, Erdman, J W. Effect of carotenoid supplemented formula on carotenoid bioaccumulation in tissues of infant rhesus macaques: a pilot study focused on lutein. *Nutrients*, 2017, 9, 1.

37. Johnson, J J, Maras, J E, Rasmussen, H M, Tucker, K L. Intake of Lutein and Zeaxanthin Differ with Age, Sex, and Ethnicity. *Journal of the American Dietetic Association*. 2010, 110, 9, 1357– 1362.
38. Paiva, P H C, De Paula, J C J, Pacheco A F C, Rocha, T P, Coelho, F. Luteína: corante bioativo promissor para a indústria láctea. *MilkPoint*. 2022.
39. Sobral, D, Nunes, N M, Bueno, R G, Machado, G M, Paula, J C J, Theodoro, V A M, Pires, A C S, Pinto, M S. Can lutein replace annatto in the manufacture of Prato cheese? *Food Science and Technology*, 2016, 68, 349-355.
40. Hencken, H. Chemical and physiological behavior of feed carotenoids and their effects on pigmentation. *Poultry Science*, 1992, 71, 711.
41. Ma, L, Liu, R, Du, H J, Liu T, Wu, S S, Liu, X H. Lutein, Zeaxanthin and Meso-zeaxanthin supplementation associated with macular pigment optical density. *Nutrients*, 2016, 8,7, 426.

BIOATIVIDADE DE COMPOSTOS FENÓLICOS COMO MODULADORES DE ENZIMAS INFLAMATÓRIAS (PROTEASES E FOSFOLIPASES A₂): UMA BREVE REVISÃO

Mateus Santos Carapiá* ; Anderson Henrique Venâncio; Cassia Duarte Oliveira; Bruna Azevedo Balduino; Silvana Marcussi

*Autor correspondente (Corresponding author: Mateus Santos Carapiá
(E-mail mscarapia@gmail.com)

Resumo: Os compostos fenólicos, também chamados de polifenóis, fazem parte de uma classe de substâncias derivadas da fenilalanina e tirosina e adotam uma grande variedade de estruturas que possuem pelo menos um anel aromático com um ou mais grupos hidroxilas. A atividade antioxidante desses compostos é atribuída principalmente à presença dos grupamentos hidroxilas na estrutura dos polifenóis. Os compostos fenólicos podem ser agrupados em dois grandes grupos: flavonoides (antocianinas, flavonóis, isoflavonas e etc.). A biodiversidade de vegetais no Brasil, no que se refere às plantas popularmente utilizadas contra processos inflamatórios, impulsiona a procura por novos compostos bioativos. Dentre as diferentes classes de compostos naturais bioativos, os flavonoides se destacam por suas ações biológicas, por exemplo, a capacidade dos polifenóis sobre processos inflamatórios e sistema imunológico, conferindo assim um alto potencial farmacológico. Os compostos fenólicos são capazes de interagir por forças de Van der Waals com as regiões apolares do sítio catalítico das estruturas de proteases e PLA₂, modulando sua atividade enzimática, visto que essas regiões são as responsáveis pelo acoplamento enzima-estruturas celulares. Além disso, flavonoides podem atuar como complexantes de íons metálicos bivalentes, tornando-os indisponíveis para se ligar às enzimas para as quais agem como cofatores, respectivamente PLA₂s e metaloproteases, podendo em alguns casos reduzir efeitos tóxicos, como por exemplo, a genotoxicidade induzida por essas enzimas.

Palavras-chave: biomoléculas, enzimas, produtos naturais, toxicologia

Abstract: Phenolic compounds, also called polyphenols, are part of a class of substances derived from phenylalanine and tyrosine and adopt a wide variety of structures that have at least one aromatic ring with one or more hydroxyl groups. The antioxidant activity of these compounds is mainly attributed to the presence of hydroxyl groups in the structure of polyphenols. Phenolic compounds can be grouped into two large groups: flavonoids (anthocyanins, flavonols, isoflavones, etc.). The biodiversity of plants in Brazil, with regard to plants popularly used against inflammatory processes, drives the search for new bioactive compounds. Among the different classes of natural bioactive compounds, flavonoids stand out for their biological actions, for example, the ability of polyphenols on inflammatory processes and the immune system, thus conferring a high pharmacological potential. Phenolic compounds are capable of interacting with the hydrophobic regions present in the structures of proteases and PLA₂, modulating their enzymatic activity, since the hydrophobic regions of these enzymes are responsible for their coupling with cellular structures. bivalent metallic ions, making them unavailable to bind to the enzymes for which they act as cofactors, respectively PLA₂s and

metalloproteases, and in some cases may reduce toxic effects, such as the genotoxicity induced by these enzymes.

Key Word: biomolecules, enzymes, natural, products toxicology

INTRODUÇÃO

Os benefícios de uma dieta rica em alimentos fontes de compostos fenólicos, nos organismos, estão geralmente associados a atividade antioxidante de diferentes compostos fenólicos presentes nesses produtos, especialmente os flavonoides (COELHO *et al.*, 2016; YIN *et al.*, 2015; ZIELINSKI *et al.*, 2014).

Os compostos fenólicos com atividade antioxidante são apontados como importantes agentes no retardo do envelhecimento, assim como na prevenção de doenças degenerativas, cardiovasculares e cerebrais (MORAES-DE-SOUZA *et al.*, 2008). Além da atividade antioxidante, estes compostos desempenham outras funções no organismo, atuando como anti-inflamatórios, anti-aterogênicos, vasodilatadores, participam como moduladores de rotas enzimáticas, da expressão gênica e contribuem melhorando as funções de membranas e receptores celulares (CORRÊA *et al.*, 2015).

No contexto da exploração científica de produtos nutracêuticos, os produtos vegetais fontes de compostos fenólicos de destacam pela composição rica em moléculas que atuam na prevenção e como adjuvantes no tratamento de diversas doenças de origem e desenvolvimento inflamatório. Dessa forma o presente trabalho tem por objetivo expor, ampliar e popularizar as atividades biológicas de produtos vegetais fontes de compostos fenólicos sobre a modulação de enzimas inflamatórias, de forma a prospectar os benefícios à saúde humana, associados à essas substâncias bioativas, principalmente flavonoides.

TÓPICOS

Compostos fenólicos em alimentos

As reações oxidativas que ocorrem nas células aeróbicas, assim como o próprio processo de respiração, resultam na formação de espécies reativas, como os radicais livres, os quais causam alterações nas estruturas de moléculas livres e nos componentes celulares, prejudicando a funcionalidade do organismo, e contribuindo assim para o surgimento de doenças, tais como, doenças inflamatórias, tumores malignos, mal de Alzheimer e doenças cardiovasculares, bem como aceleram o processo de envelhecimento (SENGER *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010).

Espécies reativas de oxigênio são formadas *in vivo* durante o metabolismo aeróbio normal, porém, disfunções na metabolização dessas espécies podem levar a seu acúmulo, e conseqüente desenvolvimento de várias doenças. A ação de radicais livres também pode causar danos oxidativos em moléculas de DNA, desempenhando um papel importante nos processos de mutagênese e carcinogênese (BIANCHI *et al.*, 1999). Vários estudos têm demonstrado que os radicais livres causam danos oxidativos em diferentes moléculas, como lipídios e proteínas (BUTKOVIC *et al.*, 2004; GARCÍA-ALONSO *et al.*, 2004).

Por isso, as células humanas possuem mecanismos antioxidantes para promover a metabolização adequada das espécies reativas e fornecer proteção contra os efeitos prejudiciais dos radicais livres, que são conseqüências inevitáveis da vida aeróbica. Para conseguir uma proteção hábil, os tecidos tem a sua disposição um integrado sistema antioxidante, trata-se de um arranjo de vários componentes hidrofóbicos (como vitamina E; carotenoides), hidrossolúveis (como ácido ascórbico; glutathiona) e

proteico/enzimáticos (como glutathione peroxidase; superóxido dismutase; catalase) (McLEAN *et al.*, 2005).

Algumas substâncias, chamadas de antioxidantes, são capazes de inibir a ação dos radicais livres, interrompendo a cadeia de propagação das reações oxidativas promovidas por essas espécies. Nos vegetais, os principais antioxidantes são as vitaminas C e E, os carotenoides e os compostos fenólicos, especialmente os flavonoides (CORRÊA *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2010).

Denomina-se antioxidante qualquer espécie química que tem a capacidade de diminuir ou cessar os danos resultantes de reações oxidativas (como rancificação e formação de off-flavors em alimentos). Os antioxidantes podem proporcionar distintas propriedades protetoras e atuar em várias etapas dos processos de oxidação, trabalhando por diversos mecanismos e são distribuídos em duas categorias: os antioxidantes primários e secundários. Os primários são as substâncias que possuem capacidade de cessar ou diminuir a oxidação por inativação de radicais devido à doação de hidrogênio ou de elétrons, transformando assim os radicais em compostos estáveis. Já os secundários oferecem uma ampla diversidade de maneiras de ação: ligando a cátions metálicos (alteração de valência); inativando espécies reativas de oxigênio, transformando hidroperóxidos em substâncias não-radicalares ou absorvendo radiação UV (MAISUTHISAKUL *et al.*, 2007).

A presença dos radicais é crítica para a manutenção de muitas funções fisiológicas normais. Algumas espécies de radicais livres são: oxigênio singlete ($1O_2$), radical superóxido (O_2^-), radical hidroxila (OH^-), óxido nítrico (NO^-) e peroxinitrito ($ONOO^-$) (BIANCHI *et al.*, 1999).

Os antioxidantes são capazes de interceptar os radicais livres gerados pelo mecanismo celular ou por fontes exógenas, impedindo o ataque sobre os lipídios, nos aminoácidos das proteínas, na dupla ligação dos ácidos graxos poli-insaturados e nas bases do DNA, evitando a formação de lesões e perda da integridade celular (PODSEDEK *et al.*, 2007).

Os polifenóis ou compostos fenólicos, são produtos do metabolismo secundário de plantas, produzidos durante o crescimento habitual e em condições de estresse, como radiação ultravioleta (UV), infecções e ferimentos (BALASUNDRAM *et al.*, 2006). Essas substâncias atuam como antioxidantes, colaborando na pigmentação, aproximando polinizadores e agindo como protetores contra radiação e patógenos (WROLSTAD *et al.*, 2005). Nos alimentos, os compostos fenólicos podem ser responsáveis pelo sabor amargo, flavor, adstringência, coloração, odor e estabilidade (CASTAÑEDA OVANDO *et al.*, 2009).

Os fenólicos são compostos largamente difundidos na natureza sendo que mais de oito mil polifenóis já foram identificados em plantas. Esse amplo e complexo grupo integra os constituintes de uma variedade de vegetais, frutas, hortaliças, e alimentos industrializados (ANGELO *et al.*, 2007).

Os compostos fenólicos são produzidos a partir de duas vias biossintéticas, com possibilidade de simultaneidade entre elas: a via do ácido chiquímico, a partir da eritrose-4-fosfato e fosfoenolpiruvato e a via do ácido mevalônico, pela condensação entre unidades de acetyl-CoA e acetoacetyl-CoA, sendo assim, uma variedade de estruturas polifenólicas, de origem mista, pode ser sintetizada, desde de ácidos fenólicos de baixa massa molecular até compostos com alto grau de polimerização, como taninos e flavonoides (SIMÕES *et al.*, 2004; TAIZ *et al.*; ZEIGER *et al.*, 2013).

Os flavonoides constituem o maior grupo de fenólicos de plantas, representando mais da metade dos compostos fenólicos que ocorrem naturalmente

(BALASUNDRAM, SUNDRAM e SAMMAN, 2006). Dividem-se em seis classes: antocianinas, flavanonas, flavonas, flavonóis, isoflavonas e flavanóis (ANGELO *et al.*, 2007).

A estrutura dos flavonoides tem sua base no núcleo que por sua vez consiste de dois anéis fenólicos, denominados respectivamente, A e B, além de um anel C, podendo ser um pirano heterocíclico, como em flavanóis (catequinas) e antocianidinas, ou pirona, assim como nos flavonóis, flavanonas flavonas e isoflavonas, que possuem um grupamento carbonila na posição C-4 do anel C, abrangendo assim as principais classes dos flavonoides (ANGELO *et al.*, 2007; HUBER e RODRIGUEZ-AMAYA, 2008).

Os flavonoides, em especial as antocianinas e flavonóis, são utilizados pelas plantas atraindo polinizadores, disseminadores de sementes e conferindo pigmentação em sementes, folhas, flores e frutos. Os flavonoides possuem outras funções, como na sinalização entre plantas e micróbios, em alguns vegetais esses compostos podem ainda atuar na fertilidade, na defesa como agentes antimicrobianos e na proteção à radiação ultravioleta (WINKEL-SHIRLEY *et al.*, 2001).

Os flavonoides (exceto as catequinas) são presentes em plantas geralmente na forma glicosilada, ou seja, unidos a monossacarídeos, sendo principalmente o-glicosídeos, com o açúcar ligado ao grupamento hidroxila (OH) na arranjo C3 ou C7 (ANGELO *et al.*, 2007). Os polifenóis despertam interesse devido a investigações epidemiológicas que apontam que uma alimentação rica nestes compostos está relacionada ao baixo risco de complicações cardiovasculares e alguns tipos de câncer. Afirma-se cientificamente que as propriedades associadas à saúde desempenhada pelos fenólicos, especialmente flavonoides, são fundamentadas principalmente na sua ação antioxidante, agindo como sequestradores de radicais livres e quelantes de íons metálicos que catalisam a peroxidação de lipídeos (ROSSA *et al.*, 2017). Outras formas de ação também são atribuídas aos flavonoides, como diminuição da proliferação celular, ação estrogênica, antibacteriana, antiaterogênica, anticoagulante, anti-inflamatória, antifibrótica e anti-hipertensiva (COELHO *et al.*, 2016; YIN *et al.*, 2015; ZIELINSKI *et al.*, 2014; WILLIAMS *et al.*, 2004).

Os ácidos fenólicos também correspondem aos principais compostos que fazem parte do grupo de compostos fenólicos, estando vinculados à formação de compostos derivados e em reações químicas e biológicas nas plantas (SIMÕES *et al.*, 2007). Os ácidos fenólicos se caracterizam por possuírem um anel benzênico, com um grupo carboxílico e um ou mais grupos hidroxilas e/ou metoxila na estrutura molecular, conferindo propriedades antioxidantes às plantas (SOARES *et al.*, 2002).

Os ácidos fenólicos são divididos em dois grupos, derivados do ácido hidroxibenzóico e derivados do ácido hidroxicinâmico. Os ácidos hidroxibenzóicos incluem os ácidos p-hidroxibenzóico, protocatecuico, vanílico, gálico e siríngico, enquanto os ácidos hidroxicinâmicos, são substâncias aromáticas com 3 carbonos que formam uma cadeia lateral (C6-C3), como por exemplo, os ácidos p-cumárico, cafeico, ferúlico e sinápico (ANGELO *et al.*, 2007).

Embora existam diversos estudos comprovando os benefícios para a saúde por via da ingestão de compostos fenólicos, pouco se sabe sobre a atividade dos seus metabólitos em sistemas biológicos, além disso, as avaliações sobre a eficácia de compostos bioativos, são geralmente realizadas *in vitro*, investigando o “composto-mãe”, mas não os seus metabólitos circulantes. Desta forma, aponta-se a necessidade de novos estudos para compreender a ação desses compostos, assim como os benefícios dos produtos de seu metabolismo no organismo humano (PINTO *et al.*, 2013).

Hemostasia, Processo Inflamatório e sua relação com compostos fenólicos

A hemostasia, trata-se de um complexo e eficiente mecanismo, de natureza fisiológica de defesa contra a perda descontrolada de sangue. A partir das propriedades não trombogênicas dos vasos, a normalidade da fluidez do sangue é mantida. A injúria aos vasos resulta numa imediata resposta hemostática que previne a hemorragia (BERGER *et al.*, 2014).

O sistema hemostático é resultado de um conjunto de processos regulados criteriosamente e com elevada eficiência, isto inclui a parede vascular, as estruturas e os agentes vasoativos associados a vasoconstrição e a vasodilatação, os fatores que acarretam a adesão e a agregação das plaquetas, compondo o tampão hemostático, e a ativação dos fatores da cascata de coagulação, levando a produção de redes de fibrina (Figura 3). Subsequentemente, os coágulos são decompostos pelo sistema fibrinolítico, durante a regeneração total do tecido danificado. Em circunstância em que qualquer membro desses mecanismos esteja modificado, a hemostasia é afetada e o resultado pode ser tanto trombose como hemorragia (DAVIE *et al.*, 1991; DAHLBÄCK *et al.*, 2000)

Diversas patologias estão associadas ao processo inflamatório, tais como contusões, tendinites, infecções respiratórias, asma e doenças autoimunes. Seu objetivo é conter a causa primária da lesão celular, causada por microrganismos ou agentes físicos, deste forma, os processos inflamatórios apresentam-se como um mecanismo de defesa do organismo (COUTINHO *et al.*, 2009).

Inicialmente, a resposta inflamatória não é específica, independentemente do tipo da injúria. Os eventos que sucedem essa reação, são dependentes de fatores relacionados ao agente danoso ao próprio tecido danificado. As reações inatas ocorrem no interior dos tecidos, dividindo-se em eventos vasculares e celulares. Os vasculares são caracterizados por modificações no calibre do vaso, que resultam em aumento no fluxo de sangue e por variações na permeabilidade vascular, culmina no extravasamento de exsudato para o interstício, seguido da formação de edema (ABBAS *et al.*, 2008).

Os responsáveis pela vasodilatação e pelo aumento da permeabilidade vascular são os mediadores, formados a partir do plasma e células. Esses mediadores podem agir de forma isolada, conjunta ou em sequência, de modo a ampliar a resposta inflamatória e alterar sua evolução. Em relação aos eventos celulares, as células associadas à inflamação estão contidas no tecido (por exemplo, células endoteliais e macrófagos) ou podem ter acesso a região afetada através da circulação (como plaquetas e leucócitos) (ABBAS *et al.*, 2008).

No decorrer das reações imunes e inflamatórias, as citocinas são liberadas de modo a regular a ação das células que compõem o sistema e atuam favorecendo a aderência leucocitária ao endotélio, aumentando a produção de prostaciclina e desencadeando uma cascata de citocinas secundárias (por exemplo, as quimiocinas) que agem atraindo e ativando as células inflamatórias móveis (LÓPEZ-POSADAS *et al.*, 2008), por isso, essas biomoléculas são alvos de investigação, sendo os compostos fenólicos uns dos principais moduladores enzimáticos de origem majoritariamente vegetal.

O desenvolvimento da química de produtos naturais de origem vegetal, através da interação com a farmacologia, é decorrente do trabalho de diversos grupos de pesquisa. O surgimento de novos alvos terapêuticos para o processo de inflamação, assim como os trabalhos de modelagem molecular, correlacionando a estrutura com a atividade, apresentam-se como ferramentas fundamentais na descoberta e avaliação de novos compostos (COUTINHO *et al.*, 2009).

Na investigação da ação anti-inflamatória de compostos fenólicos, são realizados métodos *in vitro* e *in vivo*. Os ensaios *in vitro* são feitos em cultura de células e visam verificar a capacidade do polifenol em reduzir ou até mesmo inibir a formação de mediadores, a síntese de enzimas e citocinas relacionadas, a proliferação de linfócitos, etc. Os ensaios *in vivo* empregam agentes que induzem a inflamação no animal (por exemplo: carragenina, PMA – Acetato de Miristato de Forbol, e TPA - 12-Otetradecanoilforbol-13-acetato), objetivando avaliar se o composto fenólico tem capacidade de inibição ou redução na formação de edemas, na migração de células responsáveis pela defesa, na produção de mediadores e enzimas (COUTINHO *et al.*, 2009; CHEN *et al.*, 2018).

Os flavonoides, como os flavonóis quercetina e kaempferol são relatados como distribuídos amplamente pelo reino vegetal e apresentam forte ação anti-inflamatória, atribuída à inibição das enzimas fosfolipases A2 (PLA2), lipoxigenase, ciclooxigenase e inibição da síntese de óxido nítrico através da modulação da enzima iNOS e da produção de citocinas pró-inflamatórias (KIM *et al.*, 2004).

Compostos bioativos oriundos de alimentos, têm sido empregados para modular a inflamação crônica e prevenir o início do câncer através da regulação dos mecanismos anti/pró-inflamatórios. Dentre eles estão (-) - epigallocatequina-3-galato, curcumina, resveratrol, genisteína, luteolina, quercetina, que possuem algum grau de inibição de mediadores pró-inflamatórios como TNF- α , IL-6, COX-2, iNOS, fator nuclear kappa B (NF- κ B) e promovem mediadores anti-inflamatórios incluindo fator de crescimento transformador beta (TGF- β), IL-10, receptor ativado por proliferador de peroxissoma gama (PPAR- γ), glutatona e catalase (KIM *et al.*, 2009).

Trabalhos relacionando a estrutura do flavonoide com sua atividade biológica são fundamentais no processo de obtenção de novos agentes com ação anti-inflamatória. Estes estudos visam determinar as funções orgânicas responsáveis pela efeito farmacológico e compreender como ocorre a interação do polifenol com o receptor, de modo a poder aperfeiçoar o composto original no que se refere à sua atividade (COUTINHO *et al.*, 2009). Dentre os fatores estruturais de relevância para a ação anti-inflamatória de flavonoides, encontram-se: a instauração no anel C (na posição 2-3), a numeração e posicionamento dos grupamentos hidroxilas e a não glicosilação molecular. No entanto, mesmo sem possuir esses padrões, subclasses de flavonoides também se destacam por sua ação sobre enzimas da cascata de inflamação, como por exemplo a aglicona kaempferol (LÄTTIG *et al.*, 2007).

As interações entre os polifenóis e as proteínas podem acarretar mudanças em algumas propriedades físico-químicas das macromoléculas, como: estabilidade térmica, solubilidade e digestibilidade. Através da ligação do composto fenólico com a porção lateral da cadeia proteica em pH >7, ocorre a liberação de hidrogênios que se ligam à proteína gerando, por exemplo, pontes cruzadas de hidrogênio, de modo a alterar a atividade de algumas enzimas (OZDAL *et al.*, 2013). Além disso, compostos fenólicos, como os taninos, podem precipitar proteínas e formar complexos insolúveis com diversos íons metálicos, fundamentais para a atividade catalítica das enzimas, minimizando assim seu potencial catalítico (QUILES *et al.*, 2002).

Estudos que investigaram interações entre compostos vegetais e toxinas por simulação apontam a provável ligação destes inibidores aos sítios catalíticos de enzimas. Foi observado por Cavalcante *et al.* (2007) uma diminuição de 40% na atividade enzimática da PLA2 da peçonha de *Crotalus durissus terrificus*, sendo essa redução associada à ligação da quercetina, no sítio catalítico da PLA2, próxima ao resíduo de Histidina da posição 48 (His48) (CAVALCANTE *et al.*, 2007). Através da utilização de

polifenóis isolados (polihidroxi benzenos e polihidroxi acetofenonas), Silva e Fernandes Júnior (2010) conseguiram reduzir a atividade enzimática de PLA2s contidas na peçonha de *Crotalus adamanteus*. Os autores ainda observaram no estudo, por meio de análises computacionais que os compostos fenólicos se ligavam ao aminoácido Asp49, desestabilizando a coordenação certa do íon no sítio catalítico, culminando na diminuição da atividade enzimática.

Peçonhas de serpentes como fonte de enzimas inflamatórias: inibição da atividade catalítica via interação com compostos fenólicos

As peçonhas de serpentes possuem uma complexidade distinta quando comparadas às peçonhas de outros animais, como aranhas e escorpiões (ZELANIS e TASHIMA, 2014). Peçonhas de serpentes consistem em uma matriz mais diversificada de proteínas e peptídeos de maior peso, o que resulta em uma grande variedade de efeitos farmacológicos e toxicológicos (ZHANG *et al.*, 2015). As peçonhas de Bothrops e Crotalus são constituídas de misturas complexas de enzimas, peptídeos, lipídeos, nucleotídeos, proteínas não enzimáticas e outros íons (KINI *et al.*, 2006).

As famílias de enzimas dominantes nessas peçonhas são: fosfolipases A2 (PLA2s), metaloproteases (SVMP) e serinoproteases (SVSP), além de peptídeos de três dígitos (3FTX), enquanto as famílias secundárias compreendem proteínas secretoras ricas em cisteína, L-aminoácido oxidases, desintegrinas e peptídeos natriuréticos (SLAGBOOM *et al.*, 2017; TASOULIS e ISBISTER, 2017; MUNAWAR *et al.*, 2018).

A diversidade das isoformas de PLA2s encontradas na peçonha de diferentes serpentes reflete uma variedade de fatores, incluindo a história evolutiva, dieta, filogeografia e condições ambientais relacionadas a uma espécie ou população dentro de uma espécie (ZANCOLLI *et al.*, 2019)

As enzimas da família das fosfolipases A2 (PLA2s) são estáveis, com massa molecular relativamente pequena (~14 kDa), dependentes de cálcio e ricas em interações dissulfeto, que catalisam a hidrólise de ligações éster de fosfoglicerídeos, formando ácidos graxos, especialmente ácido araquidônico e lisofosfolipídeos (YARLA *et al.*, 2015). O ácido araquidônico é um precursor de moléculas envolvidas em processos inflamatórios, como prostaglandinas, leucotrienos e tromboxanos (CARVALHO *et al.*, 2013). As principais vias enzimáticas na conversão do ácido araquidônico em lipídeos bioativos são: cicloxigenase (COX) e lipoxigenase (LOX) (REDDY *et al.*, 2015).

Entre as proteases destacam-se as serinoproteases que agem seletivamente sobre fatores da cascata de coagulação, com ação na agregação plaquetária, fibrinólise e coagulação, e as metaloproteases, enzimas dependentes de zinco, responsáveis por hemorragias, mionecrose e danos teciduais colaborando para o perda de função ou amputação do membro e inflamação local (GUTIÉRREZ *et al.*, 2010; OLIVEIRA *et al.*, 2016).

As serinoproteases e metaloproteases possuem um perfil farmacológico diversificado, o que inclui ações sobre as proteínas da cascata de coagulação, tais como a atividade do tipo trombina sobre o fibrinogênio, a ativação do fator V e da proteína C, a fibrinogênólise, a ativação do plasminogênio e a indução da agregação plaquetária. As serinoproteases são geralmente conhecidas como ‘trombina-like’ por atuarem diretamente na conversão do fibrinogênio plasmático em fibrina, sem o envolvimento da trombina endógena (MARKLAND *et al.*, 1998; SERRANO *et al.*, 2005).

Os compostos fenólicos são capazes de interagir com as regiões hidrofóbicas presentes nas estruturas de proteases e PLA2s, modulando sua atividade enzimática, visto que as regiões hidrofóbicas dessas enzimas são responsáveis por seu acoplamento com as estruturas celulares (ALVES *et al.*, 2008; CISCOTTO *et al.*, 2009; GUO *et al.*, 2012;

IZIDORO *et al.*, 2014; NAUMANN *et al.*, 2011). Além disso, flavonoides podem atuar como agentes quelantes de cátions, como o Ca^{2+} e Zn^{2+} , sequestrando-os, e assim, impedindo-os de se ligarem aos sítios catalíticos de enzimas para as quais agem como cofatores, podendo em alguns casos reduzir efeitos tóxicos, como por exemplo, a genotoxicidade induzida por essas enzimas (DIAZ *et al.*, 2005; BRENES *et al.*, 2010).

Compostos fenólicos são apontados como inibidores de metaloproteases e PLA2s, indicando a provável ligação dos polifenóis aos sítios catalíticos das enzimas, além de outros mecanismos inibidores já relatados (CAVALCANTE *et al.* (2007).

Nesse contexto, as peçonhas de serpentes e suas toxinas isoladas configuram ferramentas valiosas para estudos bioquímicos/ fisiológicos/ farmacológicos/ toxicológicos, assim como para a caracterização de moléculas que atuam sobre células ou moléculas humanas, modulando diversos processos no organismo. Uma diversidade de funções biológicas exercidas por toxinas de peçonhas de serpentes ainda é passível de exploração, incluindo suas propriedades inflamatórias e suas interações com neurônios sensoriais e outros compartimentos do sistema nervoso, levando assim à elucidação de novas funções biológicas e ao desenvolvimento de ferramentas de pesquisa (FERRAZ *et al.* 2019).

CONCLUSÕES

Incontáveis são as correlações entre o uso de vegetais como fonte de compostos bioativos, a exemplo dos fenólicos, e os benefícios à saúde humana, tanto advindas do conhecimento tradicional popular quanto pelas comprovações científicas, assim, destaca-se a relevância de promover continuidade e o incentivo à tradição do consumo de produtos de origem vegetal, bem como direcionar esse conhecimento para a ampliação e desenvolvimento de novas formulações e/ou produtos, como por exemplo, nutracêuticos e cosméticos à base de alimentos fonte de compostos bioativos, dentre outras substâncias farmacologicamente ativas que promovam a manutenção dos processos fisiológicos em humanos, promovendo sua saúde e qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ABBAS, A. K.; LICHTMAN, A. H.; PILLAI, S. (Trad. Farias, A. S.); *Imunologia Celular e Molecular*, 6ª ed., Elsevier: Rio de Janeiro, 2008.

ACHKAR, M. T.; NOVAES, G. M.; SILVA, M. J. D.; VILEGAS, W. Propriedade antioxidante de compostos fenólicos: importância na dieta e na conservação de alimentos. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações*, v. 11, n. 2, p. 398-406, ago./dez. 2013.

ALBUQUERQUE, K.; MARINOVIC, M.P.; MORANDI, A. C.; BOLIN A. P.; OTTON, R.. Green tea polyphenol extract *in vivo* attenuates inflammatory features of neutrophils from obese rats. *European Journal of Nutrition*, 55, 1261-1274, 2016.

ALVES, R. M. *et al.* Evidence of caspase-mediated apoptosis induced by L-amino acid oxidase isolated from *Bothrops atrox* snake venom. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Molecular & Integrative Physiology*, Ribeirão Preto, v. 151, n. 4, p. 542-550, Dec 2008.

ANCUCEANU, R.; HOVANET, M. V.; ANGHEL, DINU, M.; DUNE, A.; CIOLEA, M.; OLARU O. T.; POPESCU C.. Variation of polyphenols and iron concentration in *Mentha x Piperita* L. By development stage and soil type. *Farmacia*, 65, 748-754, 2017.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos - uma breve revisão. *Rev. Inst. Adolfo Lutz (Impr.)*; vol.66, n.1, pp. 01-09. ISSN 0073-9855, 2007.

ANIL U. T.; AJAY K. S. Further studies on membrane stabilizing, anti-inflammatory and FCA induced arthritic activity of various fractions of bark of *Machilus*

macrantha in rats. Rev. bras. farmacogn. vol.21 no.6 Curitiba Nov./Dec. 2011 Epub Aug 26, 2011.

BALASUNDRAM, N.; SUNDRAM, K.; SAMMAN, S. Phenolic compounds in plants and agri-industrial byproducts: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. Food Chemistry, v. 99, p. 191 – 203, 2006.

BARBOSA, D. S. Green tea polyphenolic compounds and human health. Journal of Consumer Protection and Food Safety, 2, 407-413, 2007.

BARROS, L.; DUENAS, M.; DIAS, M. I.; SOUSA, M. J.; SANTOS-BUELGA C.; & FERREIRA I. Phenolic profiles of cultivated, *in vitro* cultured and commercial samples of *Melissa officinalis* L. infusions. Food Chemistry, 136, 1-8, 2013.

BERGER, M.; Hemostasia: Uma Breve Revisão. Caderno pedagógico, Lajeado, v. 11, n. 1, p. 140-148, 2014.

BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. Radicais livres e os princípios antioxidantes da dieta. Revista de Nutrição, Campinas, v. 12, n. 2, p. 123-130, 1999.

BLUM-SILVA, C. H.; CHAVES, V. C.; SCHENKEL, E. P.; COELHO G. C.; REGINATTO F. H. The influence of leaf age on methylxanthines, total phenolic content, and free radical scavenging capacity of *Ilex paraguariensis* aqueous extracts. Brazilian Journal of Pharmacognosy, 25, 1-6, 2015.

BOAVENTURA, B. C. B.; AMBONI, DA SILVA, R.; E. L.; PRUDENCIO, E. S.; DI PIETRO, P. F.; MALTA, L. G.; POLINATI R. M.; LIU, R. H.. Effect of *in vitro* digestion of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract on the cellular antioxidant activity, antiproliferative activity and cytotoxicity toward HepG2 cells. Food Research International, 77, 257-263, 2015.

BOJIC, M.; HAAS, V. S.; SARIC D.; MALES Z. Determination of Flavonoids, Phenolic Acids, and Xanthines in Mate Tea (*Ilex paraguariensis*). Journal of Analytical Methods in Chemistry, 2013.

BOTTING, R. M. Cyclooxygenase: past, present and future a tribute to John R. Vane (1927-2004). Journal of Thermal Biology. v. 34, 208-219, 2006.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária. Laboratório Nacional de Referência Animal. Padrões de Identidade e Qualidade (PIQ) para as Bebidas Não Alcoólicas. Diário Oficial da União (DOU), 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Aprova o regulamento técnico para café, cevada, chá, erva-mate e produtos solúveis. Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº. 277, de 22 de setembro de 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 267, de 22 de setembro de 2005. Regulamento Técnico de Espécies Vegetais para o Preparo de Chás. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 23 ago.2005.

BRAUD S: Snake venom proteins acting on hemostasis. Biochimie.; 82:851–859, 2000.

BRENES, O. *et al.* Cell death induced by Bothrops asper snake venom metalloproteinase on endothelial and other cell lines. Experimental and Molecular Pathology, San José, v. 88, n. 3, p. 424-432, Jun. 2010.

BUTKOVIC, V.; KLASINC, L.; BORS, W. Kinetic Study of Flavanoid Reactions with Stable Radicals. Journal of Agricultural and Food Chemistry, London, v. 52, p. 2816-2820, 2004.

CAMARGO, A. C.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; RASERA, G. B.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G.; DO PRADO-SILVA, L.; ALVARENGA, V. O.; SANT'ANA A. S.; SHAHIDI F.; Phenolic acids and flavonoids of peanut by-products: Antioxidant capacity and antimicrobial effects. Food Chemistry, 237, 538-544, 2017.

CARVALHO, B. M. A. *et al.* Snake venom PLA2s inhibitors isolated from Brazilian plants: synthetic and natural molecules. BioMed Research International, London, v. 2013, p. 1-8, 2013.

CASTAÑEDA-OVANDO, C.A.; PACHECO-HERNÁNDEZ, M.L.; PÁEZ-HERNÁNDEZ, M.E.; RODRÍGUEZ, J.A.; GALÁN-VIDAL, C.A. Chemical studies of anthocyanins: A review. Food Chemistry, v.113, p.859 871, 2009.

CAVALCANTE, W. L. G. *et al.* Neutralization of snake venom phospholipase A2 toxins by aqueous extract of *Casearia sylvestris* (Flacourtiaceae) in mouse neuromuscular preparation. *Journal of ethnopharmacology*, v. 112, n. 3, p. 490–7, 25 jul. 2007.

CHEN, L.; DENG, H.; CUI, H.; FANG, J.; ZUO, Z.; DENG, J.; ZHAO, L. Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. *Oncotarget*, 9(6), 7204, 2018.

CINTRA A.C.O.; DE TONI L.G.B.; SARTIM M.A.; FRANCO J.J.; CAETANO R.C.; MURAKAMI M.T.; SAMPAIO S. V. Batroxase, a new metalloproteinase from *B. atrox* snake venom with strong fibrinolytic activity. *Toxicon*, 60:70–82, 2012.

CISCOTTO, P. *et al.* Antigenic, microbicidal and antiparasitic properties of an L-amino acid oxidase isolated from *Bothrops jararaca* snake venom. *Toxicon*, Belo Horizonte, v. 53, n. 3, p. 330-341, Mar. 2009.

COELHO, M.; ROCHA, C.; CUNHA, L. M.; CARDOSO, L.; ALVES, L.; LIMA, R. C.; PEREIRA, M. J.; CAMPOS P. M.; PINTADO M.. Influence of harvesting factors on sensory attributes and phenolic and aroma compounds composition of *Cymbopogon citratus* leaves infusions. *Food Research International*, 89, 1029-1037, 2016.

CORREA, V. G.; TURECK, C.; LOCATELI, G.; PERALTA M.; KOEHNLEIN E. A. Estimate of consumption of phenolic compounds by Brazilian population. *Revista De Nutricao-Brazilian Journal of Nutrition*, 28, 185-196, 2015.

COSTA, G.; GRANGEIA, H.; FIGUEIRINHA, A.; FIGUEIREDO, I. V.; BATISTA, M. T.. Influence of harvest date and material quality on polyphenolic content and antioxidant activity of *Cymbopogon citratus* infusion. *Industrial Crops and Products*, 83, 738-745, 2016.

COUTINHO, M.A.S.; MUZITANO, M.F.; COSTA S.S. Flavonoids: potential therapeutic agents for the inflammatory process. *Revista Virtual de Química*; 1:241-256, 2009.

COZZOLINO, S. M. F. Biodisponibilidade de Nutrientes (4^a edição), Manole (Barueri -SP-Brasil), 4, 879-914, 2012.

CROZIER, A.; JAGANATH, I. B.; CLIFFORD, M. N. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Nat. Prod.* 26, 1001, 2009.

DAHLBACK, B. Blood coagulation. *Lancet*, v. 355, p. 1627-1632, 2000.

DAS, P. R.; J. B. Eun. A comparative study of ultra-sonication and agitation extraction techniques on bioactive metabolites of green tea extract. *Food Chemistry*, 253, 22-29, 2018.

DAVIE, E.W.; FUJIKAWA, K.; KISIEL, W. The coagulation cascade: initiation, maintenance and regulation. *Biochemistry*, v. 30, n. 43, p. 10363-10370, 1991.

DEVLIN, T. *et al.* Textbook of Biochemistry with clinical correlations. Wiley-Liss, 6^a edição, 2005.

DIAZ, C. *et al.* Characterization of events associated with Apoptosis/Anoikis induced by snake venom metalloproteinase BaP1 on human endothelial cells. *Journal of Cellular Biochemistry*, San José, v. 94, n. 3, p. 520-528, Feb. 2005.

DORMAN, H. J. D.; KOSAR, M.; BASER K. H. C.; HILTUNEN R. Phenolic Profile and Antioxidant Evaluation of *Mentha x piperita* L., (Peppermint) Extracts. *Natural Product Communications*, 4, 535-542, 2009.

FERRAZ *et al.* Multifunctional Toxins in Snake Venoms and Therapeutic Implications: From Pain to Hemorrhage and Necrosis. REVIEW. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 19 June 2019.

FIGUEIROA, M. S.; CESAR, J. S. B.; LEITE, D. S.; ANDRADE, R. C. O.; FERREIRA, F.; GOUVEIA, P. S.; UDRISAR D. P.; WANDERLEY M. I. Green tea polyphenols inhibit testosterone production in rat Leydig cells. *Asian Journal of Andrology*, 11, 362-370, 2009.

GARCIA D. M.E.; ACOSTA O.C.; HUANCAHUIRE-VEGA S.; MARTINS-DE-SOUZA D.; MARANGONI S.; MARUÑAK S.L.; TEIBLER G.P.; LEIVA L.C.; PONCE-SOTO L.A. Isolation and functional characterization of a new acidic PLA2 Ba SpII RP4 of the *Bothrops alternatus* snake venom from Argentina. *Toxicon*, 56:64–74, 2010.

GARCÍA-ALONSO, M.; PASCUAL-TERESA, T.; SANTOS-BUELGA, C.; RIVAS-GONZALO, J. C. Evaluation of the antioxidant properties of fruits. *Food Chem.*, v. 84, p. 13-18, 2004.

GIADA, M. L. R.; MANCINI, F. J. Importância dos compostos fenólicos da dieta na promoção da saúde humana. *Ciências Biológicas e da Saúde*, v. 12, n. 4, p. 7-15, 2006.

GUIMARÃES, L. G. L.; CARDOSO, M. G.; SOUSA, P. E.; ANDRADE, J.; VIEIRA, S. S. Atividades antioxidante e fungitóxica do óleo essencial de capim-limão e do citral. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, n. 2, p. 464-472, abr-jun, 2011.

GUO, C. *et al.* Past decade study of snake venom L-amino acid oxidase. *Toxicon*, Dalian, v. 60, n. 3, p. 302-311, Sep. 2012.

GUTIÉRREZ, J.; AVILA, C.; ROJAS E.; CERDAS L. An alternative *in vitro* method for testing the potency of the polyvalent antivenom produced in Costa Rica. *Toxicon*, 26:411-413, 1988.

GUTIÉRREZ J.M.; WILLIAMS D.; FAN H.W.; WARRELL D.A. Snakebite envenoming from a global perspective: Towards an integrated approach. *Toxicon*, 56:1223-35, 2010.

GUTIÉRREZ, J. M. *et al.* Tissue pathology induced by snake venoms: how to understand a complex pattern of alterations from a systems biology perspective? *Toxicon*, Elmsford, v. 55, n.1, p. 166-70, Jan. 2010.

HAGHI, G.; HATAMI, A.; SAFAEI, A.; MEHRAN, M. Analysis of phenolic compounds in *Matricaria chamomilla* and its extracts by UPLC-UV. *Research in Pharmaceutical Sciences*; 9(1): 31-37, 2014.

HOLST, B.; WILLIAMSON, G. Nutrients and phytochemicals: from bioavailability to bioefficiency beyond antioxidants. *Curr. Opin. in Biotechnol.* 19, 73, 2008.

HUBER, L.S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Flavonóis e flavonas: fontes brasileiras e fatores que influenciam, a composição de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, Campinas, v.19, n.1, p.97-108, 2008.l., 21, 473, 2007.

IZIDORO, L. F. M. *et al.* Snake Venom L-Amino Acid Oxidases: Trends in Pharmacology and Biochemistry. *Biomed Research International*, Uberlândia, v. 2014, 19p, 2014.

KASTURIRATNE, A.; WICKREMASINGHE, A.R.; DE SILVA, N.; GUNAWARDENA, N.K.; PATHMESWARAN, A.; PREMARATNA, R.; SAVIOLI, L.; LALLOO, D.G.; DE SILVA, H.J. The Global Burden of Snakebite: A Literature Analysis and Modelling Based on Regional Estimates of Envenoming and Deaths. *PLoS Med*, 5:e218, 2008.

KERIO, L. C.; WACHIRA, F. N.; WANYOKO, J. K.; ROTICH, M. K. Total polyphenols, catechin profiles and antioxidant activity of tea products from purple leaf coloured tea cultivars. *Food Chemistry*, 136, 1405-1413, 2013.

KIM, H. P.; SON, K. H.; CHANG, H. W.; KANG, S. S. J. Anti-inflammatory Plant Flavonoids and Cellular Action Mechanisms. *Pharmacol. Sci.* 2004, 96, 229.

KIM, YS *et al.* Componentes alimentares bioativos, alvos inflamatórios e prevenção do câncer. *Cancer Prevention Research*, pp. 200 - 208, 2019.

KINI, R. M. Anticoagulant proteins from snake venoms: structure, function and mechanism. *The Biochemical journal*, v. 397, n. 3, p. 377-87, 1 ago. 2006.

KUMAR, K. R.; VENNILA, R.; KANCHANA, S.; ARUMUGAM, M. E BALASUBRAMANIAM, T. Fibrinolytic and anticoagulant activities in the tissue covering the stingers of marine stingrays *Dasyatis sephen* and *Aetobatis narinari*. *Journal of Thrombosis and Thrombolysis*, v. 31, n. 4, p 464-471, 2011.

LAEMMLI UK: Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature*, 227:680-685, 1970.

LÄTTIG J.; BÖHL M.; FISCHER P.; TISCHER S.; TIETBÖHL C.; MENSCHIKOWSKI M.; GUTZEIT H.O.; METZ P.; PISABARRO M.T. Mechanism of inhibition of human secretory phospholipase A2 by flavonoids: rationale for lead design. *J Comput Aided Mol Des* 21: 473-483, 2007.

LIU, L.Y.; JIN, C.; ZHANG, Y. Lipophilic phenolic compounds (Lipo-PCS): emerging antioxidants applied in lipid systems. *Food Chem.* 53, 2441e2445.2014, 2017.

LIU, Y.; LUO, X. L.; LAN, Z. Q.; TANG, J. R.; ZHAO, P.; KAN, H. Ultrasonic-assisted extraction and antioxidant capacities of flavonoids from *Camellia fascicularis* leaves. *Cyta-Journal of Food*, 16, 105-112, 2018.

LOPEZ-POSADAS R.; BALLESTER I.; ABADIA-MOLINA A.C.; SUAREZ M.D. ZARZUELO A.; MARTINEZ-AUGUSTIN O.; SANCHEZ M.F. Effect of flavonoids on rat splenocytes, a structure-activity relationship study. *Biochem Pharmacol.*, 76:495–506, 2008.

MACHADO, W. M.; PEREIRA, A. D.; MARCON, M. V. Efeito do processamento e armazenamento em compostos fenólicos presentes em frutas e hortaliças. *Exact Earth Sci.*, Ponta Grossa, 19 (1): 17-30, jan/jun. 2013.

MAISUTHISAKUL, P.; SUTTAJIT, M.; PONGSAWATMANIT, R. Assessment of phenolic content and free radical-scavenging capacity of some Thai indigenous plants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, London, v. 100, p. 1409-1418, 2007.

MARCUSSI, S. *et al.* Genotoxic effect of Bothrops snake venoms and isolated toxins on human lymphocyte DNA. *Toxicon*, Elmsford, v. 65, p. 9–14, Apr. 2013.

MARKLAND, F. S. Snake venoms and the hemostatic system. *Toxicon*, Elmsford, v. 36, n. 12, p. 1749–1800, Dec. 1998.

MARKUS-BERGER, M.; DA SILVA, W.O.B.; SANTI, L.; GUIMARÃES, J. A. Hemostasia: uma breve revisão. *Caderno pedagógico* (ISSN 1983-0882), v. 11, n. 1, p. 140-148, 2014.

MARTINS, N.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; FERREIRA, I. Antioxidant potential of two Apiaceae plant extracts: A comparative study focused on the phenolic composition. *Industrial Crops and Products*, 79, 188-194, 2016.

MATSUBARA, S.; RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. Conteúdo de miricetina, quercetina e kaempferol em chás comercializados no Brasil. *Ciênc. Tecnol. Alim.*, v. 26, n.2, p. 380-385, 2006.

MCKAY, D. L.; J. B. BLUMBERG. A review of the bioactivity and potential health benefits of chamomile tea (*Matricaria recutita* L.). *Phytotherapy Research*, 20, 519-530, 2006.

MCLEAN, J. A. Lipid-soluble and water-soluble antioxidant activities of the avian intestinal mucosa at different sites along the intestinal tract. *Comparative Biochemistry and Physiology*, New York, v. 141, p. 366-372, 2005.

MORAES-DE-SOUZA, R. A.; OLDONI, T. L. C.; REGITANO-D'ARCE, M. A. B.; ALENCAR, S. M.; Antioxidant activity and phenolic composition of herbal infusions consumed in Brazil. *Ciencia Y Tecnologia Alimentaria*, 6, 41-47, 2008.

MORAIS, S. M.; CAVALCANTI, E. S. B.; COSTA, S. M. O.; AGUIAR, L. A.; Antioxidant action of teas and seasonings more consumed in Brazil. *Brazilian Journal of Pharmacognosy*, 19, 315-320, 2009.

MUNAWAR, A.; ALI, S. A.; AKREM, A.; AND BETZEL, C. Snake venom peptides: tools of biodiscovery. *Toxins* 10:E474, 2018.

NAUMANN, G. B. *et al.* Cytotoxicity and inhibition of platelet aggregation caused by an L-amino acid oxidase from *Bothrops leucurus* venom. *Biochimica Et Biophysica Acta-General Subjects*, Belo Horizonte, v. 1810, n. 7, p. 683-694, Jul. 2011.

NEVES, A. L. D.; KOMESU, M. C.; DI MATTEO, M. A. S.. Effects of Green Tea Use on Wound Healing. *International Journal of Morphology*, 28, 905-910, 2010.

NIRMAL, N.; PRABA, G.O.; VELMURUGAN, D. Modeling studies on phospholipase A2-inhibitor complexes. *Indian. J. Biochem. Biophys.*, 45:256–62, 2008.

NKEH-CHUNGAG B.N.; OYEDEJI O.O.; OYEDEJI A.O.; NDEBIA E.J.; Anti-inflammatory and membrane-stabilizing properties of two semisynthetic derivatives of oleanolic acid. *Inflammation.*; 38(1):61-9, 2015.

SCHALOSKE, R. H.; DENNIS, E. A. The phospholipase A2 superfamily and its group numbering system. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Molecular and Cell Biology of Lipids*, Amsterdam, v.1761, n. 11, p. 1246-1259, Nov. 2006.

OLIVEIRA, C. H. M. *et al.* Inhibition of proteases and phospholipases A2 from *Bothrops atrox* and *Crotalus durissus terrificus* snake venoms by ascorbic acid, vitamin E, and B-

complexvitamins. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, v. 88, n. 3, p. 2005-2016, Oct, 2016.

OLIVEIRA, D. M.; BASTOS, D. H. M. Biodisponibilidade de ácidos fenólicos. Química Nova, vol.34 no.6, 1051-1056, 2011.

OZDAL, T.; CAPANOGLU, E.; ALTAY, F. A review on protein-phenolic interactions and associated changes. Food Research International, v. 51, n. 2, p. 954-970, maio 2013.

PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; FEZEU, L.; TOUVIER, M.; ARNAULT, N.; MANACH, C.; HERCBERG, S. Dietary intake of 337 polyphenols in French adults. J. Clin. Nutr.; 93(6):1220-28, 2011.

PINTO, M. D. *et al.* Tea: A new perspective on health benefits. Food Research International, 53, 558-567, 2013.

PIOVEZAN-BORGES, A. C.; VALÉRIO-JÚNIOR, C.; GONÇALVES, I. L.; MIELNICZKI-PEREIRA, A. A.; VALDUGA, A. T. Antioxidant potential of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extracts in *Saccharomyces cerevisiae* deficient in oxidant defense genes. Brazilian Journal of Biology, vol.76 no.2 São Carlos Apr./June 2016 Epub Mar 01, 2016.

PODSEDEK, A. Natural antioxidants and antioxidant capacity of Brassica vegetables: A review. Food Sci. Technol, v. 40, p. 1-11, 2007.

PORT'S, P. D.; CHISTE, R. C.; GODOY, H. T.; PRADO, M. A.; . The phenolic compounds and the antioxidant potential of infusion of herbs from the Brazilian Amazonian region. Food Research International, 53, 875-881, 2013.

QUILES, J. L. *et al.* Antioxidant nutrients and adriamycin toxicity. Toxicology, v. 180, n. 1, p. 79-95, 30 out. 2002.

R CORE TEAM: R: A Language and Environment for Statistical Computing. Viena: Viena: R Foundation for Statistical Computing; 2012.

REDDY, K. K. *et al.* Exploration of binding site pattern in arachidonic acid metabolizing enzymes, cyclooxygenases and lipoxygenases. BMC Research Notes, London, v. 8, n. 152, p. 1-10, Apr. 2015.

RITA, I.; PEREIRA, C.; BARROS, L.; FERREIRA, I. Exploring reserve lots of *Cymbopogon citratus*, *Aloysia citrodora* and *Thymus x citriodorus* as improved sources of phenolic compounds. Food Chemistry, 257, 83-89, 2018.

RODRIGUES V.M.; SOARES A.M.; GUERRA-SÁ R.; RODRIGUES V.; FONTES M.R.; GIGLIO JR. Structural and functional characterization of neuwiedase, a nonhemorrhagic fibrin(ogen)olytic metalloprotease from *Bothrops neuwiedi* snake venom. Arch Biochem Biophys 2000, 381:213-24.

ROSSA, U. B.; ANGELO, A. C.; MAZUCHOWSKI, J. Z.; WESTPHALEN, D. J.; FRIZON, C. N. T.; MARTINS, C. E. N.. Influence of light and fertilizers on methylxanthines and phenolic compounds in leaves of mate tea. Ciência Florestal, 27, 1365-1374, 2017.

SANT' ANA C.D.; TICLI F.K.; OLIVEIRA L.L.; GIGLIO JR.; RECHIA C.G. V.; FULY, A.L.; DE ARAÚJO, H.S.; FRANCO, J.J.; STABELI, R.G.; SOARES, A.M.; SAMPAIO, S.V. BJUSSUSP-I: a new thrombin-like enzyme isolated from *Bothrops jararacussu* snake venom. Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, 151:443-54, 2008.

SAUTEBIN, L. Prostaglandins and nitric oxide as molecular targets for anti-inflammatory therapy. Fitoterapia, 71, S48, 2000.

SCALBERT, A.; WILLIAMSON, G. Dietary intake and bioavailability of polyphenols J. Nutr, 130, 2073S-85S, 2000.

SCHALOSKE, RALPH H.; DENNIS, EDWARD A. The phospholipase A2 superfamily and its group numbering system. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids, 1761.11: 1246-1259, 2006.

SCHOLZ, S.; WILLIAMSON, G. Interactions affecting the bioavailability of dietary polyphenols *in vivo* Int. J. Vitam. Nutr. Res, 77, 224, 2007.

SCORSATTO, M.; PIMENTEL, A.C.; SILVA, A.J.R.; SABALLY, K.; ROSA, G.; OLIVEIRA, G.M.M. Avaliação de Compostos Bioativos, Composição Físico-Química e

Atividade Antioxidante *In vitro* da Farinha de Berinjela. *International Journal of Cardiovascular Sciences*. 30(3):235-242, 2017.

SELISTRE, H.S.; QUEIROZ, L.S.; CUNHA, O.A.B.; DE SOUZA, G.E.P.; GIGLIO, JR. Isolation and characterization of hemorrhagic, myonecrotic and edema-inducing toxins from *Bothrops insularis* (jararaca ilhoa) snake venom. *Toxicon*, 28:261-273, 1990.

SENGER, A.E.; SCHAEANKE, C.H.A.; GOTTIEB, M.G.V. Chá verde (*Camellia sinensis*) e suas propriedades funcionais nas doenças crônicas não transmissíveis. *Sci Med.*; 20(4):292-300, 2010.

SERRANO, S. M. T.; MAROUN, R. C. Snake venom serine proteinases: sequence homology vs. substrate specificity, a paradox to be solved. *Toxicon*, Elmsford, v. 45, n. 8, p. 1115-1132, June 2005.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenoides e atividade antioxidante em produtos vegetais. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 31, n. 3, p. 669-682, 2010.

SILVA, N. L.; ARAÚJO, I. P. C.; BATISTA, M. R. F.; SANTOS, T. B. A.; FERNANDO, W. L.; AMARAL, F. R. Determinação da atividade antioxidante e do teor de flavonoides totais equivalentes em quercetina em extrato aquoso de folhas de *Cymbopogon citratus* (d.c.) stapf e *Melissa officinalis* lam obtidos por decocção. *Revista Conexão Ciência*, Vol. 12, Nº 1, p. 46 - 53, 2017.

SILVA, N.; FERNANDES JÚNIOR, A. Biological properties of medicinal plants: a review of their antimicrobial activity. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, v. 16, n. 3, p. 402-413, 2010.

SINGH, O.; KHANAM, Z.; MISRA, N.; SRIVASTAVA, M.K. Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.): An overview. *Pharmacogn Rev*; 5(9):82-95, 2011.

SLAGBOOM, J.; KOOL, J.; HARRISON, R.A.; CASEWELL, N.R. Haemotoxic snake venoms: their functional activity, impact on snakebite victims and pharmaceutical promise. *Br. J. Haematol.*; v. 177, 947-959, 2017.

SRIVASTAVA, S.; KUMAR, R.; LUQMAN, S. Antioxidative and pro-oxidative property of *Matricaria chamomilla* L. flower for the variants of deoxyribose degradation. *Annals of Phytomedicine-an International Journal*, 4, 52-58, 2015.

TASOULIS, T.; ISBISTER, G.K. A review and database of snake venom proteomes. *Toxins* 9:E290, 2017.

TAVALLALI, V.; ZAREIYAN, F. Antioxidant activity, polyphenolic contents and essential oil composition of aniseed (*Pimpinella anisum* L.) as influenced by 5-aminolevulinic acid. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 1065-1071, 2018.

TRESSERRA-RIMBAU, A.; MEDINA-REMÓN, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; MARTÍNEZ-GONZÁLEZ, M.A.; COVAS, M.I.; CORELLA, D. Dietary intake and major food sources of polyphenols in a Spanish population at high cardiovascular risk: The PREDIMED study. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.*, 23(10):953-9, 2013.

VASCO, C.; RUALES, J.; KAMAL-ELDIN, A. Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. *Food Chemistry*, London, v. 111, p. 816-823, 2008.

WANG, W.J.; SHIH, C.H.; HUANG, T.F.; A novel P-I class metalloproteinase with broad substrate-cleaving activity, agkislysin, from *Agkistrodon acutus* venom. *Biochem Biophys Res Commun.*, 324:224-30, 2004.

WILLIAMS, D.; GUTIÉRREZ, J.M.; HARRISON, R.; WARRELL, D.A.; WHITE, J.; WINKEL, K.D. Gopalakrishnakone P: The Global Snake Bite Initiative: an antidote for snake bite. *Lancet.*, 375:89-91, 2010.

WILLIAMS L.A.; O'CONNAR, A.; LATORE, L.; DENNIS, O.; RINGER, S.; WHITTAKER, J.A.; CONRAD, J.; VOGLER, B.; ROSNER, H.; KRAUS, W. The *in vitro* anti-denaturation effects induced by natural products and non-steroidal compounds in heat treated (immunogenic) bovine serum albumin is proposed as a screening assay for the detection of anti-inflammatory compounds, without the use of animals, in the early stages of the drug discovery process. *West Indian Med J.*; 57(4):327-31, 2008.

WILLIAMS, R.J.; SPENCER, J.P.E.; RICE-EVANS, C. Flavonoids: Antioxidants or signalling molecules?. In: Free Radical Biology and Medicine.; Vol. 36, No. 7. pp. 838 – 849, 2004.

WINKEL-SHIRLEY, B. Flavonoid biosynthesis, a colourful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. Plant Physiology, Minneapolis, n.126, p.485-493, 2001.

WROLSTAD, R. E.; DURST, R. W.; LEE, J. Tracking color and pigment changes in anthocyanin products. Trends in Food Science & Tecnology, v. 16, p. 423-428, 2005.

YARLA, N. S. *et al.* Phospholipase A2: A potential therapeutic target in inflammation and cancer (in silico, *in vitro*, *in vivo* and clinical approach). Journal of Cancer Science & Therapy, Osaka, v.7, n. 7, p. 249-252, July 2015.

YASMEEN, H.; HASNAIN, S. *In vitro* antioxidant effect of Camellia sinensis on human cell cultures. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences, 28, 1573-1581, 2015.

YIN, D.; YUAN, D., R. Y.; WU, Q.; LI, S. S.; SHAO, S.; XU, Y. J.; HAO, X. H.; WANG, L. S.; Assessment of flavonoids and volatile compounds in tea infusions of water lily flowers and their antioxidant activities. Food Chemistry, 187, 20-28, 2015.

ZAMORA-ROS R.; KNAZE V.; LUJÁN-BARROSO L.; ROMIEU I.; SCALBERT, A.; SLIMANI, N. Differences in dietary intakes, food sources and determinants of total flavonoids between Mediterranean and nonMediterranean countries participating in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC) study. Br J Nutr., 109(8):1498- 1507, 2013.

ZANCOLLI, G.; CALVETE, J.J.; CARDWELL, M.D.; GREENE, H.W.; HAYES, W.K.; HEGARTY, M.J. When one phenotype is not enough: divergent evolutionary trajectories govern venom variation in a widespread rattlesnake species. Proc. Biol. Sci. 286:20182735, 2019.








ZARGAR, B.; MAJEED, D.; GANAI, S. A.; MIR S. A.; DAR, B. N. Effect of different processing parameters on antioxidant activity of tea. Journal of Food Measurement and Characterization, 12, 527-534, 2018.

ZELANIS, A.; TASHIMA, A. K. Unraveling snake venom complexity with ‘omics’ approaches: challenges and perspectives. Toxicon 87, 131–134, 2014.

ZHANG, Y. Why do we study animal toxins? Dongwuxue Yanjiu 36, 183–222, 2015.

ZIELINSKI, A.A.F.; HAMINIUK, C.W.I.; ALBERTI, A.; NOGUEIRA, A.; DEMIATE, I.M.; GRANATO D. A comparative study of the phenolic compounds and the *in vitro* antioxidant activity of different Brazilian teas using multivariate statistical techniques. Food Research International, 60, 246-254, 2014.

COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, COMPOSTOS BIOATIVOS E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DE FRUTOS DE JUÇARA (*Euterpe edulis* Martius) DA MATA ATLÂNTICA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Vanessa Caroline de Oliveira *; Nataly de Almeida Costa ; Maria José do Amaral e Paiva ; Nicole Marina Almeida Maia ; Érica Nascif Rufino Vieira ; Fabrícia Queiroz Mendes ; Daniele Juliana Rodrigues Gonçalves 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: vanessa.c.oliveira@ufv.br

Resumo: A juçara (*Euterpe edulis* Martius) é uma palmeira nativa da Mata Atlântica, que produz frutos redondos que recentemente ganharam destaque mundial, principalmente por sua semelhança com frutos de *Euterpe oleracea* e *Euterpe precatoria* Martius utilizados na produção de açaí. As bagas da juçara se evidenciam pelo alto valor nutricional, que na sua composição apresenta diversos tipos de nutrientes, incluindo ácidos graxos, proteínas, fibras, minerais e vitaminas, além de compostos bioativos como antocianinas, flavonoides e ácidos fenólicos, e o seu consumo está associado a atividades biológicas potentes. Os frutos apresentam intensa coloração arroxeada e essa característica pode ser atribuída as antocianinas, pertencentes ao grupo dos flavonoides. A capacidade antioxidante de espécies frutíferas da Mata Atlântica gera perspectivas promissoras para a exploração sustentável desse importante bioma. No corpo humano os efeitos antioxidantes dos compostos fenólicos ajudam a proteger as células contra os danos oxidativos causados pelos radicais livres. Conclui-se que as características nutricionais, físicas e químicas encontradas nos frutos de juçara contribuem com os estudos de valorização dos alimentos regionais na alimentação humana. Os resultados mostram perspectivas promissoras para o aproveitamento desta fruta tropical com composição química composta por compostos consideráveis níveis de ácidos fenólicos, antocianinas e apresentando atividade antioxidante.

Palavras-chave: Antocianinas; atividade antioxidante; compostos fenólicos; *Euterpe edulis* Martius

Abstract: The juçara (*Euterpe edulis* Martius) is a palm tree native to the Atlantic Forest, which produces round fruits that have recently gained worldwide prominence, mainly due to their similarity with the fruits of *Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria* Martius used in the production of açaí. The juçara berries are known for their high nutritional value, which in their composition presents several types of nutrients, including fatty acids, proteins, fibers, minerals and vitamins, in addition to bioactive compounds such as anthocyanins, flavonoids and phenolic acids, and their consumption is associated with potent biological activities. The fruits have an intense purplish color and this characteristic can be attributed to the anthocyanins, which belong to the flavonoid group. The antioxidant capacity of fruit species from the Atlantic Forest generates promising perspectives for the sustainable exploitation of this important biome. In the human body, the antioxidant effects of phenolic compounds help protect cells against oxidative damage caused by free radicals. It is concluded that the nutritional, physical and chemical

characteristics found in the juçara fruits contribute to studies on the enhancement of regional foods in human nutrition. The results show promising prospects for the use of this tropical fruit with chemical composition composed of compounds with considerable levels of phenolic acids, anthocyanins and presenting antioxidant activity.

Key Word: Anthocyanins; antioxidant activity; phenolic compounds; *Euterpe edulis* Martius

INTRODUÇÃO

Um maior consumo de frutas é recomendado devido a uma grande quantidade de nutrientes e fitoquímicos, que com essa ingestão serão disponibilizados na dieta humana. E esses compostos, quando administrados em quantidades adequadas, estão associados a uma menor incidência de diversas doenças (1).

Entre as espécies de palmeiras brasileiras, o açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e a juçara (*Euterpe edulis* Martius) são citados como “superalimentos” (2). Vários pesquisadores têm buscado novas fontes de compostos bioativos naturais para tornar a dieta humana mais funcional e saudável. *Euterpe edulis* Martius pertencente à família *Arecaceae*, é popularmente conhecida como Juçara, uma árvore nativa da Mata Atlântica e predominantemente distribuída nos estados das regiões sul e sudeste do Brasil (3).

A regeneração natural e a conservação de *Euterpe edulis* Martius foram muito prejudicadas pelo desmatamento e intensa extração ilegal de palmito principalmente na década de 1970. Assim, visando diminuir o processo de exploração, organizações sem fins lucrativos e órgãos governamentais têm incentivado cada vez mais outras opções para a exploração sustentável dessa espécie e também o aproveitamento de seus frutos inserção na dieta humana (4, 5).

A comercialização da polpa de juçara pode ser considerada uma estratégia importante para a conservação da *Euterpe edulis* Martius. A colheita do fruto não provoca a morte da palmeira e que pode ser feita anualmente na mesma palmeira e rende sementes adequadas para o replantio. Também a comercialização da polpa é um meio de geração de renda para comunidades da Mata Atlântica (6).

TÓPICOS

Caracterização dos frutos e processamento da polpa

A juçara (*Euterpe edulis* Martius) é uma palmeira nativa da Mata Atlântica brasileira que produz pequenas bagas globosas e violetas que se assemelham às bagas de *Euterpe oleracea* e *Euterpe precatória*, mais conhecidas como açaí (7). Os frutos da juçara tem formatos arredondados e contêm uma única semente recoberta por um pericarpo roxo escuro e fino. Geralmente esses frutos são macerados com água e separados de suas sementes para obtenção de uma polpa espessa, que para o consumo, pode ser congelada e/ou utilizada para processamento de suco, sorvete, licor e outros produtos (8) de acordo com a cultura alimentar da região. O fruto redondo produzido pela juçara, é composto por uma semente marrom-clara que corresponde a cerca de 90% do diâmetro do fruto (1 a 2 cm) e até 90% do seu peso (0,7g a 1,9g). As sementes são cobertas com uma pele preta brilhante. É um fruto não climatérico, ou seja, os períodos de maturação e frutificação podem variar de acordo com a origem climática e geográfica (9,10). Na Figura 1 estão os principais produtos e subprodutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis* Martius).

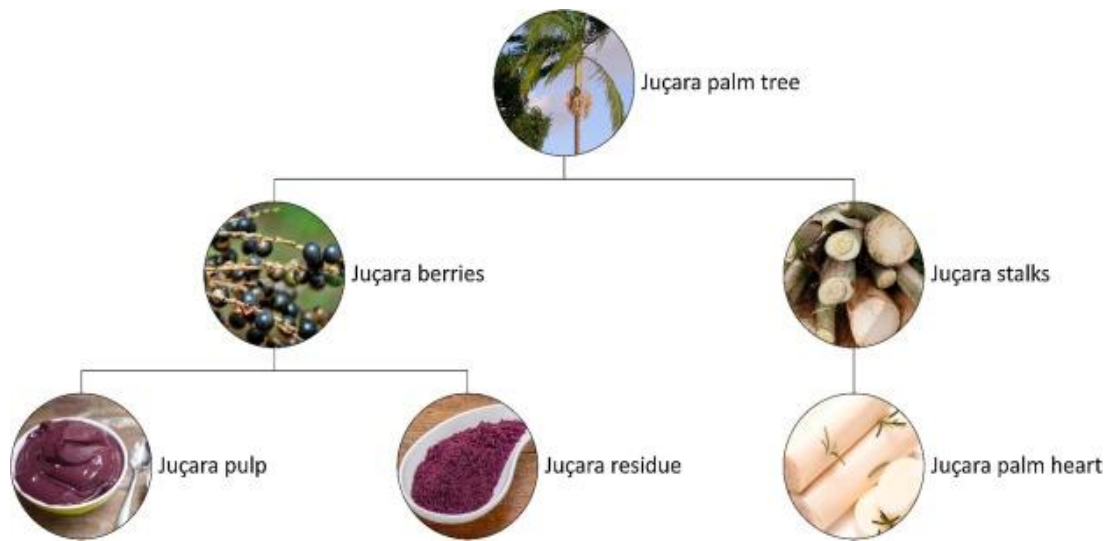


Figura 1 - Principais produtos e subprodutos da palmeira juçara (*Euterpe edulis Martius*) (9).

De forma industrial, durante o processamento do fruto, após passar por uma despoldadora que separa o mesocarpo e o epicarpo das sementes, as bagas da juçara são normalmente comercializadas como suco ou polpa congelada, que produz resíduos (epicarpo, endocarpo, semente) que também podem apresentar importantes compostos antioxidantes (11,12). O processo de produção convencional da polpa por completo está representado na Figura 2.

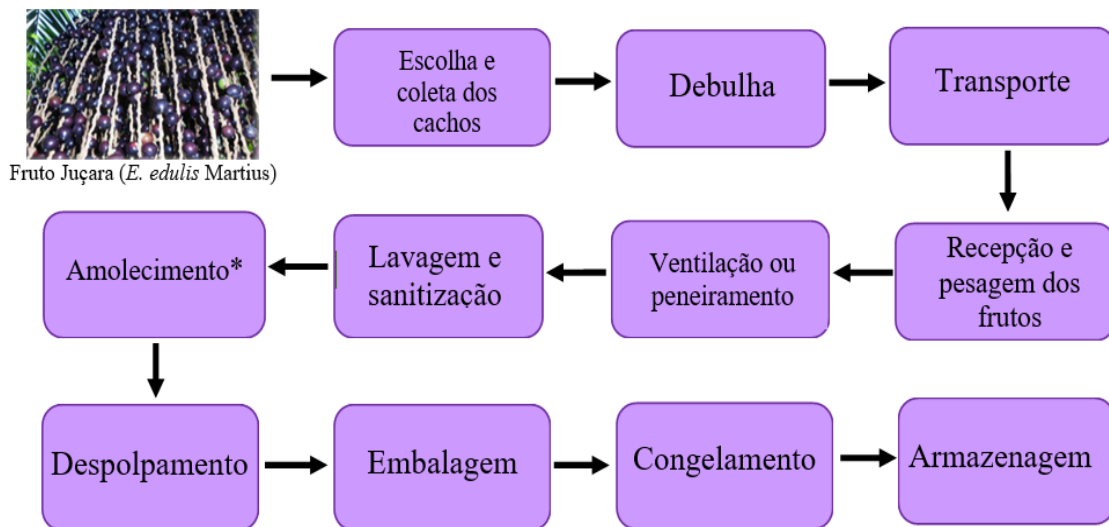


Figura 2 - Fluxograma convencional do processamento da polpa de juçara (*Euterpe edulis Martius*)

*A imersão dos frutos em água morna (35 – 40 °C) por 20 minutos (em média) facilita o desprendimento do pericarpo. Pode realizar esta operação em temperaturas mais baixas, como a ambiente, mas o tempo de imersão será maior para obter-se o mesmo resultado.

Fonte: Adaptado (13).

Para comercialização no mercado internacional, a polpa de açaí deve se adequar a alguns critérios de qualidade a que estão sujeitos os demais frutos e polpas, o que leva a um processamento mais cuidadoso. A Figura 3 apresenta o fluxograma convencional da

cadeia de produção do Juçara ou açai. Observa-se que não existe nenhuma etapa de processamento com a finalidade para eliminação de microrganismos patogênicos e/ou inativação de enzimas na polpa, reduzindo a segurança e qualidade das polpas mesmo que congeladas (13). Um fluxograma foi desenvolvido para adequar o processamento da polpa em relação a essa etapa citada.

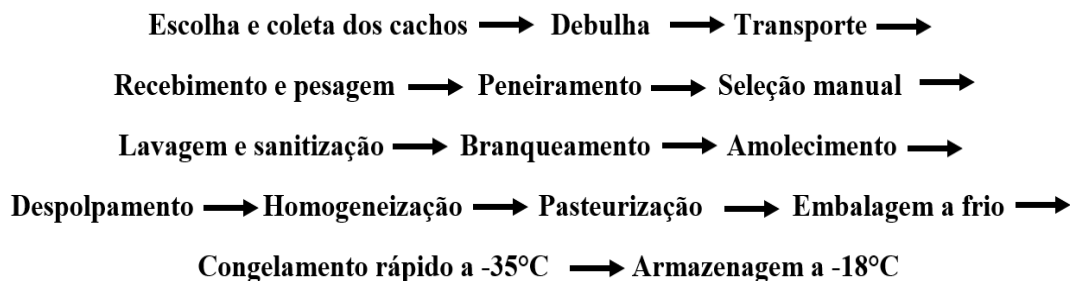


Figura 3 - Fluxograma ideal do processamento da polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius).
Fonte: Adaptado (13)

Composição físico-química da polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius)

A composição físico-química da polpa de juçara de frutos de diferentes regiões do país está apresentada na Tabela 1.

Tabela 3 – Composição físico-química da polpa de juçara (*Euterpe edulis* Martius) de diferentes regiões do país

Composição	Média	Origem do fruto	Fonte
pH	4,7	Rio Novo - Espírito Santo	(14)
	4,8 ± 0,0	Resende - Rio de Janeiro	(15)
	5,6 ± 0,4	São Paulo	(16)
Sólidos solúveis totais (°Brix)	2,8	Rio Novo - Espírito Santo	(14)
	11,6 ± 0,1	São Paulo	(16)
	2,01±0,27	Mogi das Cruzes – SP	(17)
Acidez (% de ácido cítrico ou g de ácido cítrico por 100 g ₋₁ de polpa)	3,0	Rio Novo - Espírito Santo	(14)
	1,67	Rio Novo do Sul- Espírito Santo	(18)
	0,23 ± 0,03	Mogi das Cruzes – SP	(17)
Umidade (%)	88,8	Rio Novo - Espírito Santo	(14)
	93,8	Rio Novo do Sul-Espírito Santo	(18)
	83,8 ± 0,5	Resende - Rio de Janeiro	(15)
Lipídeos	29,2 ± 0,9	São Paulo	(16)
	46,6 ± 0,0	Resende - Rio de Janeiro	(15)
	7,06 ± 0,73 a 22,07 ± 3,99	Florianópolis - Santa Catarina	(19)
Proteínas (%)	5.13 ± 0.15	Barra Velha – Santa Catarina	(20)
	0.25 ± 0.05	Mogi das Cruzes – SP	(17)
	7.5 ± 0.1	Resende - Rio de Janeiro	(15)
Carboidratos (%)	28,8*	Rolândia, Paraná	(21)
	46.6 ± 0.0	Resende - Rio de Janeiro	(15)

	28,3 ± 3,5	São Paulo	(16)
Fibras (%)	27.1 ± 0.0	Resende - Rio de Janeiro	(15)
	28,3 ± 0,3	São Paulo	(16)
	34,2*	Rolândia, Paraná	(21)
Cinzas (%)	0.40 ± 0.06	Mogi das Cruzes – SP	(17)
	3.4 ± 0.0	Resende - Rio de Janeiro	(15)
	1.99 ± 0.08	Barra Velha – Santa Catarina	(20)
Valor energético (Kcal/100 gramas)	83	Resende - Rio de Janeiro	(15)
	403	Rolândia, Paraná	(21)
	400,0 ± 23,9	São Paulo	(16)

*polpa liofilizada

Em relação a composição físico-química, percebe-se que há uma variação entre os trabalhos citados. Essa variação na composição da polpa demonstra que todas as cultivares são influenciadas pela temperatura, solo, insolação, estágio de maturação, precipitação do local geográfico e também da região onde são cultivadas (4).

Como não há legislação específica sobre a polpa de juçara, os parâmetros da composição físico-química foram comparados com dados da literatura e da Instrução Normativa nº 01 de 2000 que descreve o Regulamento Técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para a polpa de açaí. O Regulamento define a polpa de açaí e o açaí como: Polpa de açaí e o açaí são produtos extraídos da parte comestível do fruto do açaizeiro (*Euterpe oleracea*, Mart.) após amolecimento através de processos tecnológicos adequados (22).

O pH da polpa juçara está dentro dos limites mencionado para a polpa de açaí (22) que estabelece um pH mínimo de 4,00 e máximo de 6,20. Os altos valores de umidade e pH encontrados na literatura para a polpa de juçara demonstram sua característica perecível, sendo recomendável aplicar técnicas de conservação para aumentar sua estabilidade e manter a qualidade durante seu armazenamento até a distribuição para o mercado consumidor. É importante observar que as diferenças entre os valores de umidade encontradas, pode estar relacionados a quantidade de água utilizada para processamento da polpa juçara, onde algumas pesquisas descrevem a umidade da polpa processada e não do fruto *in natura* (23).

Acidez e sólidos solúveis são normalmente utilizados para determinar os parâmetros de maturação e atributos de qualidade, como sabor, cor, firmeza e estabilidade microbiana dos frutos (24). A Instrução Normativa nº 01 de 2000 (22) estabelece uma especificação baseada no teor de sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa. Três graus são reconhecidos (>14% SST: Açaí grosso ou tipo A; 11–14% SST: Açaí médio ou tipo B; e 8–11% SST: Açaí fino ou tipo C). De acordo com esses parâmetros, pode-se classificar a juçara como fino ou Tipo C, porque o teor de sólidos solúveis encontrados na literatura estava entre 8 e 11 °Brix. A Instrução Normativa nº 01 de 2000 (22) também estabelece padrão de acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g) e classifica as polpas em graus: aproximadamente 0,27 (g de ácido cítrico por 100 g⁻¹ de polpa) como açaí fino; 0,40 (g de ácido cítrico por 100 g⁻¹ de polpa) como açaí médio; 0,45 (g de ácido cítrico por 100 g⁻¹ de polpa) como açaí grosso. De acordo com esses parâmetros, pode-se classificar a juçara como açaí grosso.

Um dos componentes de maior proporção na composição da polpa de juçara são os lipídeos e podem ser considerados alimentos de alto valor calórico e nutricional, devido

ao percentual elevado desse componente e também rico em proteínas e minerais. Os frutos da juçara destacam-se pelo alto teor de gordura, muito superior ao de outras pequenas frutas da floresta tropical brasileira. A juçara possui pelo menos vinte vezes mais lipídeos que a araçá, a grumixama, a uvaia (16). Os valores de lipídeos totais encontrados na literatura estão de acordo com a legislação vigente do açaí que estabelece de 20,0(g/100g) a 60,0 (g/100g). Os ácidos graxos insaturados são os dominantes na fração lipídica dos frutos (25).

Os teores de proteínas e carboidratos da juçara encontrados na literatura, estão de acordo com a legislação estabelecida para polpa de açaí (22) (6,0 g de proteína/100 g e 40 g de carboidratos totais/100 g). A juçara pode ser uma importante fonte vegetal de proteína, pois pode fornecer, em massa fresca, até dez vezes mais proteína do que frutas comuns como maçã, uva, pera, melão e manga, que apresentam valores de 0,1 a 1% (p/p) (26). Além disso, a juçara é um bom fornecedor de minerais para a dieta humana. Os principais minerais essenciais encontrados nesses frutos são potássio, cálcio, magnésio, ferro e manganês (15, 19).

Compostos polifenólicos e atividade antioxidante dos frutos de juçara (*Euterpe edulis Martius*)

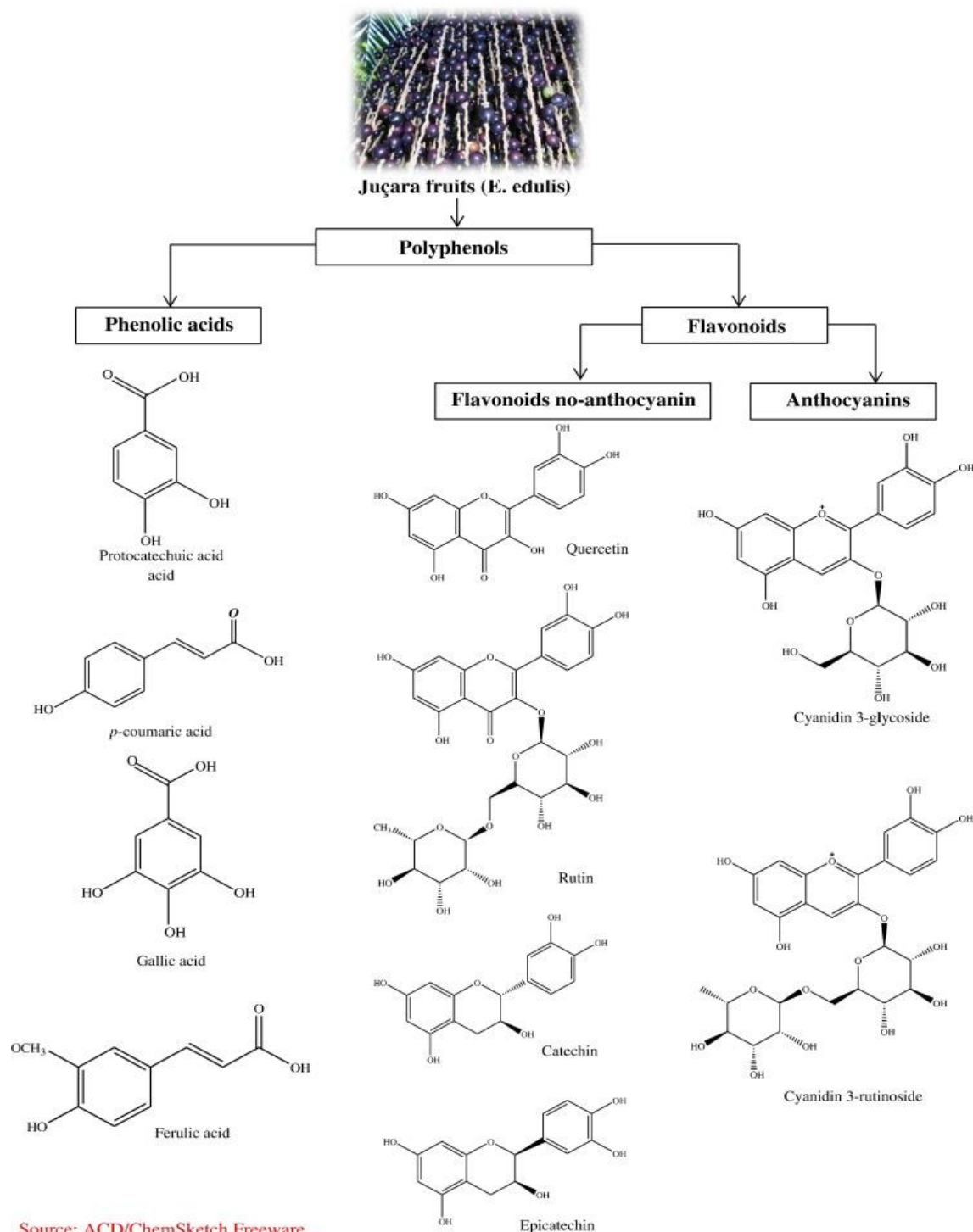
Os frutos juçara (*Euterpe edulis Martius*) apresentam uma diversidade de compostos polifenólicos que estão correlacionados com forte inibição da oxidação (25). Os polifenóis são um grupo quimicamente heterogêneo com aproximadamente 10.000 compostos (27), que de acordo com sua estrutura (número de anéis fenólicos e o tipo e número de elementos estruturais de ligação) são agrupados em diferentes divididos em não flavonoides e flavonoides. Os compostos não flavonoides são ácidos fenólicos e estilbenos, enquanto os flavonoides são divididos em antocianinas, flavonoides, flavonas, flavanonas e isoflavonas (28).

As antocianinas são os polifenóis mais abundantes em frutas e vegetais e são o grupo mais significativo de pigmentos vegetais visíveis, solúveis em água e vacuolares (29, 30). Os frutos da juçara apresentam intensa coloração arroxeada e essa característica pode ser atribuída as antocianinas, pertencentes ao grupo dos flavonoides. A cianidina-3-glicosídeo e cianidina-3-rutinosídeo são as antocianinas mais abundantes neste fruto (3).

Outras moléculas bioativas também estão presentes na composição dos frutos como os ácidos fenólicos: protocatecuico, p-cumárico, ferúlico, cinâmico, gálico e sináptico; e também flavonoides: quercetina, rutina e aromadendrina, o que confere alta capacidade antioxidante na juçara (31).

Devido à presença da grande variedade de compostos fenólicos, pesquisas têm sugerido que os frutos da juçara podem exercer efeitos antioxidantes (12, 15, 19, 20, 25). Além disso, os efeitos antioxidantes dos frutos também foram avaliados *in vitro* (3, 12, 19) e *in vivo* (32). No corpo humano, os efeitos antioxidantes dos compostos fenólicos ajudam a proteger as células contra os danos oxidativos causados pelos radicais livres, desativando ou estabilizando os radicais livres antes que eles ataquem as células do corpo (33).

Os principais compostos polifenólicos encontrados na juçara (*Euterpe edulis Martius*) são mostrados na Figura 4.



Source: ACD/ChemSketch Freeware

Figura 4 - Principais compostos polifenólicos presentes na fruta da juçara (*Euterpe edulis Martius*).
Fonte: (3).

Na Tabela 2, observa-se os valores de compostos fenólicos totais, antocianinas e capacidade antioxidante de juçara (*Euterpe edulis Martius*) encontrados na literatura.

Tabela 2 – Valores médios com desvio padrão de compostos fenólicos totais, antocianinas e capacidade antioxidante de juçara (*Euterpe edulis Martius*)

Composto/Nutriente	Material analisado	Conteúdo	Referências
Fenólicos totais (mg equivalentes de ácido gálico 100 g ⁻¹ em base de peso seco)	Polpa desengordurada	1466,00 ± 3,39	(25)
	Suco ¹	1992,10 ± 59,1	(32)
	Polpa	167,92 ± 5,52 ²	(34)
	Polpa	7500	(15)
	Polpa	7,72±0,41	(17)
Antocianinas monoméricas totais (mg equivalentes de cianidina 3-glicosídeo 100g ⁻¹ matéria fresca)	Suco ¹	2033,7 ± 28,1	(32)
	Polpa em pó desengordurada	207,94 ± 1,68	(20)
	Polpa	204,62 ± 2,27 ²	(34)
	Polpa	634,30	(19)
	Polpa	667,05 ± 42,09	(17)
Capacidade antioxidante FRAP (µM de Trolox equivalente a 100g ⁻¹ em base de peso seco)	Fruta		
	Polpa desengordurada	571,14 ± 8,9	(25)
	Suco ¹	9699,20 ± 105,5	(32)
Capacidade antioxidante DPPH (µmol de equivalentes Trolox g ⁻¹ em base de peso seco)	Fruta	1158,00	(25)
	Polpa desengordurada	836,10 ± 5.7	(25)
	Suco ¹	12,608.90 ± 134,8	(32)
Capacidade antioxidante ABTS (µmol de equivalentes Trolox 100 g ⁻¹ em base de peso seco)	Polpa	745,30	(12)
	Polpa		
Capacidade antioxidante ABTS (µmol de equivalentes Trolox 100 g ⁻¹ em base de peso seco)	Polpa	22.83 ± 3.44 ³	(34)
	Polpa	67.7	(15)

¹porção de suco de juçara (450 mL) ²(µg.g⁻¹) ³(mg.g⁻¹)
Fonte: Adaptado (3).

Os valores de fenólicos totais encontrados na literatura variaram de 7.72 ± 0.41 a 1992.1 ± 59.1 mg equivalentes de ácido gálico 100 g⁻¹ em base de peso seco. Pesquisadores classificaram o teor de polifenóis em três categorias: (GAE: ácido gálico) abaixo (<100 mg GAE/100 g), médio (100–500 mg GAE/100 g) e alto (>500 mg GAE/100 g) para amostras à base de matéria fresca, e baixo (<1000 mg GAE/100 g), médio (1000–5000 mg GAE/100 g) e alto (>5000 mg GAE/100 g) na matéria seca.

Os valores de antocianinas nos extratos de juçara variaram de 634.3 a 2033.7 ± 28.1 mg equivalentes de cianidina 3-glicosídeo 100 g⁻¹ matéria fresca. A variação nos níveis de antocianinas nesses extratos de juçara pode ser em parte devido às diferenças nas condições de cultivo. Em condições de campo, a composição fenólica dos tecidos vegetais pode variar com fatores sazonais, genéticos e agronômicos (35,36). Além disso, sabe-se que uma grande variabilidade em vários estágios de maturação, o que não foi mencionado em nenhum dos trabalhos o ponto de maturação dos frutos. Além das diferentes condições de cultivo, como temperatura e precipitação, afeta os teores de compostos polifenólicos (37). O consumo dos frutos juçara é altamente recomendado porque alimentos com alto teor de polifenóis e atividades antioxidantes demonstraram

prevenir várias doenças associadas ao estresse oxidativo, como câncer e doenças cardiovasculares e neurodegenerativas (38).

CONCLUSÕES

Conclui-se que as características nutricionais, físicas e químicas encontradas nos frutos de juçara contribuem com os estudos de valorização dos alimentos regionais na alimentação humana. Os resultados mostram perspectivas promissoras para o aproveitamento desta fruta tropical com composição química composta por compostos consideráveis níveis de ácidos fenólicos, antocianinas e apresentando atividade antioxidante.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

1. Slavin J, Lloyd B. Health benefits of fruits and vegetables. *Advances in Nutrition*. 2012; 3:506-516.
2. Smith, S. *Superfoods Index: top 50 foods to boost health and vitality*. 1 ed. Jane Curry Publishing; 2013.
3. Schulz M, Borges GDSC, Gonzaga LV, Costa ACO, Fett R. Juçara fruit (*Euterpe edulis* Mart.): Sustainable exploitation of a source of bioactive compounds *Food Research International*. 2016; 89:14-26.
4. Da Silva NA, Rodrigues E, Mercadante AZ, de Rosso VV. Phenolic compounds and carotenoids from four fruits native from the Brazilian Atlantic forest. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62: 5072-5084.
5. Trevisan ACD, Fantini AC, Schmitt Filho AL, Farley J. Market for Amazonian açai (*Euterpe oleraceae*) stimulates pulp production from Atlantic Forest juçara berries (*Euterpe edulis*). *Agroecology and Sustainable Food Systems*. 2015; 39: 762-781.
6. Santos AF, Correa-Junior C, Neves EJM. *Palmeiras para Produção de Palmito: Juçara, Pupunheira e Palmeira Real*. Embrapa Florestas; 2009.
7. Schulz M, Biluca FC, Gonzaga LV, Borges G da SC, Vitali L, Micke GA, JS de Gois, Almeida TS de, Borges DLG, Miller PRM, Costa ACO, Fett R. Bioaccessibility of bioactive compounds and antioxidant potential of juçara fruits (*Euterpe edulis* Martius) subjected to in vitro gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*. 2017; 228: 447-454.
8. Vieira GS, Marques ASF, Machado MTC, Silva VM, Hubinger MD. Determination of anthocyanins and non-anthocyanin polyphenols by ultra

- performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry (UPLC/ESI-MS) in Jussara (*Euterpe edulis*) extracts. *Journal of Food Science and Technology*. 2017; 54: 2135-2144.
9. Henderson, A. The genus *Euterpe* in Brazil. M.S. Reis, A. Reis (Eds.), *Euterpe edulis* Martius - (Palmitheiro) biologia, conservação e manejo. Herbário Barbosa Rodrigues; 2000.
 10. De Brito ES, De Araújo MCP, Alves RE, Carkeet CC, Clevidence B, Novotny J. Anthocyanins present in selected tropical fruits: Acerola, jabolão, jussara e guarabiju. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 2007; 55: 9389-9394.
 11. Garcia JAA, Corrêa RCG, Barros L, Pereira CP, Abreu RMV, Alves MJ, Calhella RC, Bracht A, Peralta RM, Ferreira ICFR. Chemical composition and biological activities of Juçara (*Euterpe edulis* Martius) fruit by-products, a promising underexploited source of high-added value compounds. *Journal of Functional Foods*. 2019; 55:325-332.
 12. Bicudo MOP, Ribani RH, Beta T. Anthocyanins, phenolic acids and antioxidant properties of juçara fruits (*Euterpe edulis* M.) along the on-tree ripening process. *Plants Foods for Human Nutrition*. 2014; 69: 142-147.
 13. Schwob AC. Infraestrutura agroindustrial para processamento do açaí. J.D.C. Pessoa, G.H.A. Teixeira (Eds.). *Tecnologias para inovação nas cadeias Euterpe*, 1 ed. Embrapa; 2012.
 14. Rocha CT, Silva ECP da, Stringheta PC, Paula DA, Fernandes SA, Pinto MRMR, Ramos AF. Gamma radiation and pasteurization on anthocyanin stability and antioxidant capacity of jussara pulp (*Euterpe edulis*) during storage. *Ciência Rural*. 2023; 53: e20210912.
 15. Inada KO, Oliveira AA, Revorêdo TB, Martins ABN, Lacerda ECQ, Freire AS, Braz FB, Santelli RE, Torres AG, Perrone D, Monteiro MC. Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions. *Journal of Functional Foods*. 2015; 17: 422-433.
 16. Silva NA da, Rodrigues E, Mercadante AZ, Rosso VV de. Phenolic Compounds and Carotenoids from Four Fruits Native from the Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2014; 62: 5072-5084.
 17. Silva PPM, Carmo LF do, Silva GM, Silveira-Diniz MF, Casemiro RC, Spoto MH. Physical, Chemical, and Lipid Composition of Juçara (*Euterpe edulis* MART.) pulp. *Brazilian Journal of Food & Nutrition*. 2013; 24:7-13.
 18. Paim DRSF, Costa SDO, Walter EHM, Tonon RV. Microencapsulation of probiotic jussara (*Euterpe edulis* M.) juice by spray drying. *LWT - Food Science and Technology*. 2016; 74: 21-25

19. Schulz M, Borges GSC, Gonzaga LV, Seraglio SKT, Olivo IS, Azevedo MS, Nehring P, Gois JS, Almeida TS, Vitali L, Spudeit DA, Micke GA, Borges DLG, Fett R. Chemical composition, bioactive compounds and antioxidant capacity of juçara fruit (*Euterpe edulis* Martius) during ripening. Food Research. 2015; 77:125-131.
20. Borges G da SC, Vieira FGK, Copetti C, Gonzaga, LV, Zambiasi RC, Filho JM et al. Chemical characterization, bioactive compounds, and antioxidant capacity of jussara (*Euterpe edulis*) fruit from the Atlantic Forest in southern Brazil. Food Research International. 2011; 44: 2128-2123.
21. Guergoletto KB, Costabile A, Flores G, Garcia S, Gibson GR. In vitro fermentation of jucara pulp (*Euterpe edulis*) by human colonic microbiota. Food Chemistry. 2016; 196: 251–258.
22. Ministério da Agricultura e do Abastecimento (BR). Instrução Normativa nº 01, de 7 de janeiro de 2000. Aprovar o Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. Diário Oficial da União, nº 6, Brasília.
23. Rocha CT da. Composição fenólica e capacidade antioxidante de juçara (*Euterpe edulis*) cultivada nos estados de Minas Gerais e Espírito Santo [tese]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa; 2017.
24. Tyl C, Sadler GD. pH and Titratable Acidity. Nielsen (Ed.), Food Analysis, Springer International Publishing; 2017.
25. Borges G Da SC, Gonzaga LV, Jardini FA, Filho JM, Heller M, Micke G, Costa ACO, Fett R. Protective effect of *Euterpe edulis* M. on Vero cell culture and antioxidant evaluation based on phenolic composition using HPLC – ESI MS/MS. Food Research International. 2013; 51:363-369.
26. Hui YH. Handbook of fruit and fruit processing. Blackwell Publishing; 2006.
27. Andersen OM, Markham K.R. Flavonoids chemistry, biochemistry and applications. Separation and quantification of flavonoids. 1 ed. CRC Press/Taylor & Francis; 2006.
28. Wightman JD, Heuberger RA. Effect of grape and other berries on cardiovascular health Journal of the Science of Food and Agriculture. 2015; 95:1584-1597.
29. Zhao CL, Yu YQ, Chen ZJ, Wen GS, Wei FG, Zheng Q, Wang CD, Xiao XL. Stability-increasing effects of anthocyanin glycosyl acylation. Food Chemistry. 2017; 214: 119-128.
30. He J, Giusti M. Antocianinas: corantes naturais com propriedades promotoras da saúde. Annual Review of Food Science and Technology. 2010; 1: 163 - 187.

31. Schulz M, Gonzaga LV, Souza V. de, Farina, M, Vitali L, Micke GA, Costa ACO, Fett R. Neuroprotective effect of juçara (*Euterpe edulis* Martius) fruits extracts Against glutamate-induced oxytosis in HT22 hippocampal cells. Food Research International, 2019; 120: 114-123
32. Cardoso AL, Di Pietro PF, Vieira FGK, Boaventura BCB, De Liz S, Borges G da SC, Fett R, de Andrade DF, da Silva EL. Acute consumption of juçara juice (*Euterpe edulis*) and antioxidant activity in healthy individuals. Journal of Functional Foods. 2015; 17:152-162.
33. Pisoschi AM, Pop A. The role of antioxidants in the chemistry of oxidative stress: A review. European Journal of Medicinal Chemistry. 2015; 97:55-74.
34. Barroso ES, Oliveira BG, Pimentel EF, Pereira PM, Ruas FG, Andrade TU, Lenz D, Scherer R, Fronza M, Ventura JA, Vaz BG, Kondratyukc TP, Romão W, Endringera DC. Phytochemical profile of genotypes of *Euterpe edulis* Martius – Juçara palm fruits. Food Research International. 2019; 116: 985-993.
35. Garzón GA, Narváez CE, Riedl KM, Schwartz SJ. Chemical composition, anthocyanins, non-anthocyanin phenolics and antioxidant activity of wild bilberry (*Vaccinium meridionale* Swartz) from Colombia. Food Chemistry. 2010; 122: 980-986.
36. Taiz L, Zeiger E. Fisiologia vegetal. 3 ed. ARTMED; 2006.
37. Tomás-Barberan FA, Espín JC. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture. 2001; 81:853-876.
38. Sotgia F, Martinez-Outshoorn UE, Lisanti MP. Mitochondrial oxidative stress drives tumor progression and metastasis: Should we use antioxidants as a key component of cancer treatment and prevention? BMC Medicine. 2011; 62.

RESPOSTA ADAPTATIVA DE *Escherichia coli* ENTEROTOXIGÊNICA AO ÓLEO ESSENCIAL DE *Origanum* *vulgare* (ORÉGANO)

Michelle Carlota Gonçalves *; Mônica Aparecida da Silva ; Bruna Azevedo Balduino ; Anderson Henrique Venâncio ; Juliana Junqueira Pinelli ; Monique Suela Silva ; Roberta Hilsdorf Piccoli 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email:
michellecienciasdealimentos@gmail.com

Resumo: *Escherichia coli* Enterotoxigênica (ETEC) é uma bactéria patogênica que pode causar desde simples diarreia até a morte em crianças e indivíduos imunocomprometidos. Por serem veiculadas por alimentos, principalmente os de origem animal, seu controle é de grande importância. A inibição ou a morte dessa bactéria podem ser causadas pela adição de conservantes ao alimento. Entretanto, essas substâncias, muitas vezes, podem causar impactos negativos na saúde do consumidor. Assim, substâncias naturais têm sido sugeridas como alternativa aos conservantes químicos. O óleo essencial de *Origanum vulgare* (orégano), apresenta elevada atividade antimicrobiana e de amplo espectro contra patógenos alimentares. Entretanto, quando utilizado em concentração subletal, pode induzir a respostas fisiológicas bacterianas, levando à diminuição de sua suscetibilidade. Diante do exposto, verificar a capacidade de adaptação de ETEC ao óleo essencial de orégano, torna-se necessário. Inicialmente, a concentração mínima bactericida (CMB) do óleo essencial foi determinada e posteriormente as células bacterianas foram submetidas a dose subletal de ¼ da CMB do óleo essencial e após o período de incubação, as células foram expostas a concentrações variando de 0,5xCMB a 2xCMB para testar a capacidade adaptativa e esta foi determinada pelo crescimento em concentração igual ou maior que a CMB, anteriormente letal a bactéria. ETEC desenvolveu capacidade adaptativa por crescer em até 2xCMB. A pré-exposição de ETEC a concentração subletal do óleo essencial de orégano promoveu a adaptação da bactéria. O óleo essencial de orégano é uma opção promissora de antimicrobiano e sanitizante a ser utilizado na indústria de alimentos, desde que em concentrações adequadas.

Palavras-chave: ÓLEO ESSENCIAL; CANTIMICROBIANO NATURAL; BACTÉRIA PATOGENICA.

Abstract: Enterotoxigenic *Escherichia coli* (ETEC) is a pathogenic bacteria that can cause anything from simple diarrhea to death in children and immunocompromised individuals. Because they are transmitted by food, especially those of animal origin, their control is of great importance. The inhibition or death of this bacteria can be caused by the addition of preservatives to the food. However, these substances can often cause negative impacts on consumer health. Thus, natural substances have been suggested as an alternative to chemical preservatives. The essential oil of *Origanum vulgare* (oregano) has high antimicrobial and broad-spectrum activity against foodborne pathogens. However, when used in sublethal concentrations, it can induce bacterial physiological

responses, leading to a decrease in its susceptibility. Given the above, it is necessary to verify the ability of ETEC to adapt to the essential oil of oregano. Initially, the minimum bactericidal concentration (CMB) of the essential oil was determined and later the bacterial cells were subjected to a sublethal dose of $\frac{1}{4}$ of the CMB of the essential oil and after the incubation period, the cells were exposed to concentrations ranging from $0.5 \times \text{CMB}$ to $2 \times \text{CMB}$ to test the adaptive capacity and this was determined by growth in a concentration equal to or greater than the CMB, previously lethal to the bacteria. ETEC has developed adaptive capacity by growing up to $2 \times \text{CMB}$. Pre-exposure of ETEC to a sublethal concentration of oregano essential oil promoted bacterial adaptation. The essential oil of oregano is a promising antimicrobial and sanitizing option to be used in the food industry, as long as in adequate concentrations.

Key Words: ESSENTIAL OIL; NATURAL ANTIMICROBIAL; PATHOGENIC BACTERIA.

INTRODUÇÃO

Escherichia coli é habitante comensal do trato entérico de humanos e animais sadios e acredita-se que desempenha papel benéfico ao hospedeiro, sendo capaz de sintetizar vitaminas, impedir o estabelecimento bem como favorecer a eliminação de linhagens patogênicas de *E. coli* (1). A presença de cepas não patogênicas em alimentos indica contaminação direta ou indireta de origem fecal, sendo considerado o indicador de possível presença de microrganismos patogênicos. Contagens elevadas de *E. coli* também podem estar relacionadas à falta de higiene e à falha no processamento de alimentos (2).

Escherichia coli Enterotoxigênica (ETEC) é responsável por cerca de 200 milhões de casos de diarreia e 380 mil mortes por ano, principalmente em crianças menores de cinco anos de idade (3, 4). Provoca infecções caracterizadas por diarreia aquosa, vômitos, dores de estômago, náuseas e, em alguns casos, febre moderada, sendo estas infecções autolimitadas em indivíduos saudáveis, podendo levar a graves consequências em pessoas imunocomprometidas (5). O distúrbio transmitido pela ETEC é conhecido como “diarreia dos viajantes”, por acometer pessoas que visitam áreas endêmicas (6).

Enterotoxinas são produzidas nos órgãos intestinais, causando, principalmente, dores abdominais, diarreias e vômitos, sendo consideradas uma das causas de toxinfecção alimentar. Duas enterotoxinas são produzidas por ETEC, a toxina termolábil (LT) e a toxina termoestável (ST), podendo ser expressa uma ou ambas as toxinas pela mesma estirpe (7). Seus fatores de colonização permitem a colonização do intestino delgado, causando secreção líquida no lúmen intestinal (7,8).

A segurança alimentar relacionada à saúde pública tem sido considerada problema crítico de saúde e esta área tem recebido atenção crescente, nos últimos anos. Infecção alimentar causada por *E. coli*, em especial por ETEC, é um problema emergente em indústrias produtoras de alimentos de origem animal, devido ao desenvolvimento progressivo da adaptação microbiana aos sanitizantes e conservantes utilizados. Com isso, pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de desenvolver novos métodos de controle que não permitam a adaptação microbiana.

A adição de conservantes aos alimentos pode inibir o crescimento de ETEC, porém, deve-se considerar a crescente preocupação dos consumidores em relação à saúde e à segurança alimentar. Alguns agentes antibacterianos de origem natural, tais como os óleos essenciais, apresentam a atividade antimicrobiana desejada.

Óleos essenciais, também chamados de óleos voláteis ou etéreos, são produtos oriundos do metabolismo secundário de plantas, sendo constituídos quimicamente por terpenoides e fenilpropanoides. Estes óleos são misturas naturais complexas constituídas por 20 a 60 componentes presentes em diferentes concentrações e apresentam alguns componentes principais, denominados majoritários, que determinam suas propriedades biológicas(14).

A espécie *Origanum vulgare* é uma planta perene, aromática e condimentar pertencente à família Lamiaceae e conhecida como orégano, manjerona-silvestre ou manjerona-rasteira. É uma planta herbácea, rasteira ou decumbente (9). O orégano emana um perfume fresco, intenso, herbáceo, sendo utilizado para fins aromáticos e condimentares. Seu óleo essencial é considerado como potente bactericida e fungicida reconhecido cientificamente.

Silva Júnior e Verona (9), pesquisando os extratos da planta de orégano, verificaram a presença de sabineno, cis-ocimeno, p-cimeno e cariofileno. Esses foram responsáveis pelas atividades antioxidantes, expectorantes, digestivas e anti-inflamatórias. Lee, Cheng e Chang (10) encontraram no óleo essencial das folhas a presença dos componentes majoritários timol e carvacrol, que se mostraram eficientes como antioxidantes, tanto que essa propriedade foi comparada à conhecida atividade da vitamina E e BHT.

Vários estudos têm focado sobre as propriedades biológicas do óleo essencial de *Origanum vulgare* e seus principais constituintes (11). *O. vulgare*, vulgarmente conhecido como orégano, possui muitas propriedades terapêuticas (por exemplo diaforética, antiinflamatório, anti-séptico, carminativo e antiespasmódico) que são utilizados na medicina nativa por muito tempo. O óleo essencial tem apresentado resultados interessantes na inibição do crescimento de bactérias, fungos e síntese de metabólitos microbianos (12, 13).

Os óleos essenciais são, de modo geral, considerados seguros e com baixa probabilidade de levar ao aparecimento de cepas bacterianas resistentes, devido à sua complexidade química e múltiplas formas de ação sobre os microrganismos, alterando a morfologia celular, interferindo na dupla camada fosfolipídica da parede celular da bactéria, levando ao aumento da permeabilidade e à perda dos constituintes celulares, e alterando uma variedade de sistemas enzimáticos, como os envolvidos na produção de energia celular e na síntese de componentes estruturais(14).

Entretanto, a utilização de concentrações inadequadas dos pode levar à adaptação das células expostas a concentrações subletais, fornecendo proteção à subsequente exposição a esse estresse, gerando graves problemas relacionados à inocuidade dos produtos e à saúde do consumidor, além de causar danos econômicos para as indústrias alimentícias. Assim, definir a concentração correta de uso do óleo essencial de orégano, utilizado como antibacteriano, a fim de que não induzam a tolerância, se torna importante. Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a capacidade de *E.coli* Enterotoxigênica (ETEC) se adaptar ao óleo essencial de orégano.

MATERIAL E MÉTODOS

Local de condução do experimento

O estudo foi conduzido no Laboratório de Microbiologia de Alimentos, no Departamento de Ciências dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

Óleo essencial

Foi utilizado o óleo essencial de *Origanum vulgare* (Orégano), adquirido da Sigma Aldrich®.

Microorganismo, padronização e manutenção do inóculo

Para a realização do experimento foi utilizada a cepa de *Escherichia coli* Enterotoxigênica (ETEC) ATCC 35401, cedida pelo Laboratório de Enterobactérias, LABNET, Rio de Janeiro, RJ. A cultura estoque foi armazenada em meio de congelamento (glicerol, 15 mL; peptona bacteriológica, 0,5 g; extrato de levedura, 0,3 g; NaCl, 0,5 g e água destilada, 100 mL, pH 7,0). O inóculo foi reativado inoculando-se alíquotas de 100 µL das culturas estoque em tubos contendo 10 mL de caldo infusão cérebro de coração (BHI) e incubados, a 37 °C, por 24 horas. A padronização do inóculo foi realizada mediante curva de crescimento. Após a reativação da cultura, alíquotas de 50 µL do inóculo foi transferida para 300 mL de caldo BHI e incubadas a 37 °C, sendo realizadas leituras periódicas da absorbância (600nm) em espectrofotômetro (BEL SP-2000) e plaqueamento em ágar triptona de soja (TSA) com incubação a 37 °C, por 24 horas. A cultura foi padronizada em, aproximadamente, 10⁸ UFC mL⁻¹.

Determinação da concentração mínima bactericida do óleo essencial de orégano sobre ETEC

A concentração mínima bactericida do óleo essencial foi determinada empregando-se a técnica de microdiluição em caldo, em placas de poliestireno de 96 cavidades, de acordo com o NCCLS (M7-A6) (NATIONAL COMMITTEE FOR CLINICAL LABORATORY STANDARDS - NCCLS, 2003) (15), com adaptações. O óleo essencial foi solubilizado em caldo BHI, acrescido de Tween 80 (0,5%). Foram avaliadas as seguintes concentrações (%): 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,062; 0,03 e 0,015 (v/v). Alíquotas de 150 µL das soluções foram adicionadas nas cavidades e inoculados 10 µL das culturas padronizadas a, aproximadamente, 10⁸ UFC mL⁻¹. As microplacas foram vedadas e incubadas, a 37 °C, por 24 horas. Após esse período, foi realizado o plaqueamento de alíquotas das culturas em TSA e incubadas, a 37 °C, 24 horas.

Foram utilizados dois controles para cada composto testado, o controle negativo, contendo BHI acrescido de 0,5% de Tween 80 e óleo essencial e o controle positivo, contendo BHI acrescido de 0,5% de Tween 80 e 10 µl de inóculo padronizado. Foi considerada a concentração mínima bactericida (CMB) do óleo essencial em que, após a incubação, não houve crescimento bacteriano em placas. O experimento foi realizado em triplicata e três repetições.

Adaptação de ETEC ao óleo essencial de orégano

As células de ETEC foram expostas a concentração subletal do óleo essencial de orégano. A dose subletal foi determinada com base nas CMB e foi equivalente a CMB/4 (16), com adaptações. Em tubos tipo Falcon contendo 18 mL de caldo BHI acrescido de 0,5% de Tween 80 foi adicionado o óleo essencial na concentração subletal. Após homogeneização, alíquotas de 2 mL de inóculo padronizado foram adicionadas ao meio e os tubos foram incubados, a 37 °C, por 6 horas. Após esse período, a cultura foi centrifugada a 5.000 xg/5 min e as células adaptadas, lavadas três vezes com solução salina, ressuspensas em caldo BHI e padronizada em torno de 10⁸ UFC mL⁻¹, para posterior utilização.

Avaliação da adaptação de ETEC ao óleo essencial de orégano

As células expostas a concentração subletal do óleo essencial foram ressuspensas em caldo BHI e a cultura padronizada a 10⁸ UFC mL⁻¹ para posterior exposição às diferentes concentrações do mesmo óleo essencial (CMB/2; CMB; 1,2CMB;

1,4CMB; 1,6CMB; 1,8CMB e 2CMB) ao qual a cultura foi previamente exposta. Utilizaram-se microplacas de poliestireno de 96 cavidades, de acordo com o NCCLS (M7-A6) (NCCLS, 2003) (15), com adaptações. O óleo essencial foi solubilizado em caldo BHI, adicionado de Tween 80 (0,5%). Aliquotas de 150 μ L das soluções foram adicionadas nas cavidades e inoculados 10 μ L das culturas padronizadas. As microplacas foram incubadas, a 37 °C, por 24 horas. Após esse período, retiraram-se alíquotas de 10 μ L, sendo realizado o plaqueamento em TSA pela técnica de microgotas e incubação a 37 °C, por 24 horas.

As células de ETEC foram classificadas como capazes de se adaptarem quando foi detectado crescimento em placas após cultivo em presença do óleo essencial em concentrações maiores que a CMB. Paralelamente, realizou-se o mesmo procedimento com células de ETEC não expostas a dose subletal, possibilitando a comparação entre células expostas e não expostas, quanto à susceptibilidade aos componentes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A CMB do óleo essencial de orégano sobre ETEC foi de 1,0%. A bactéria apresentou capacidade adaptativa por crescer na concentração de 2XCMB, ou seja, 2%. Concentração a qual era letal à sua sobrevivência.

As condições em que os microrganismos são expostos durante o processamento de alimentos pode levar ao desenvolvimento de respostas adaptativas e desenvolvimento de tolerância após a exposição a fatores subletais de estresse, capazes de provocar danos às células microbianas (17).

Essas alterações permitem aos microrganismos manterem seu metabolismo e, portanto, sobreviverem e se multiplicarem após exposição a condições de estresse em produtos alimentares. Também tem sido demonstrado que existe uma série de mecanismos moleculares que os microrganismos utilizam para se adaptar e sobreviver (18).

Mudanças adaptativas a estresses ambientais exigem grandes quantidades de energia e durante as fases de adaptação todas as divisões celulares normais são interrompidas. Isso tem várias consequências importantes para as toxinfecções alimentares microbianas ou deterioração, como a fase de latência antes que o crescimento se estenda, as reduções das taxas de crescimento e os números celulares finais diminuem (19). Os requisitos nutricionais e composição enzimática e química das células são também afetados. Isso caracteriza a importância de se entender as respostas adaptativas que os microrganismos utilizam para sobreviver em ambientes antes letais.

CONCLUSÕES

Neste trabalho comprova-se o potencial do óleo essencial de orégano contra ETEC, sendo, portanto, útil na indústria de alimentos, desde que utilizado em concentrações corretas. ETEC desenvolveu capacidade adaptativa ao óleo essencial após exposta a dose subletal do mesmo, por tornar-se capaz de crescer em concentração de até 2x o valor da CMB, concentração esta que era letal a sobrevivência da célula.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Lavras, da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas-Gerais (FAPEMIG).

REFERÊNCIAS

1. Tangi, S. C. et al. Prevalence of pathogenicity island markers genes in uropathogenic *Escherichia coli* isolated from patients with urinary tract infections. *Asian Pacific Journal of Tropical Disease*, Singapore, v. 5, n. 8, p. 662-666, Aug. 2015.
2. Oliveira, M. M. et al. *Cinnamon* essential oil and cinnamaldehyde in the control of bacterial biofilms formed in stainless steel surfaces. *European Food Research & Technology*, Berlin, v. 234, n. 5, p. 821-832, 2012
3. Steffen, R. et al. Vaccination against enterotoxigenic *Escherichia coli*, a cause of travelers' diarrhea. *Journal of Travel Medicine*, Hamilton, v. 12, p. 102-107, 2005.
4. Wenneras, C.; Erling, V. Prevalence of enterotoxigenic *Escherichia coli*-associated diarrhoea and carrier state in the developing world. *Journal of Health, Population and Nutrition*, Bangladesh, v. 22, p. 370-382, 2004.
5. Evans Junior, d. j.; Evans, D. G. *Escherichia Coli* in diarrheal disease. In: BARON, S. (Ed.). *Medical microbiology*. 4th ed. Galveston: University of Texas Medical Branch at Galveston, 1996. chap. 25, p. 1-15.
6. Kotloff, K. L. et al. Burden and aetiology of diarrhoeal disease in infants and young children in developing countries (the Global Enteric Multicenter Study, GEMS): a prospective, case-control study. *The Lancet*, London, v. 382, n. 9888, p. 209-222, July 2013.
7. Wolf, M. K. Occurrence, distribution, and associations of O and H serogroups, colonization factor antigens, and toxins of enterotoxigenic *Escherichia coli*. *Clinical Microbiology Reviews*, Washington, v. 10, p. 569-584, 1997.
8. World Health Organization. The United Nations Children's Fund. Diarrhoea: why children are still dying and what can be done. Geneva, 2009. Disponível em: http://www.unicef.org/health/index_51412.html>. Acesso em: 10 jan. 2023.
9. Silva Júnior, a. a.; Verona, M. L. F. *Plantas medicinais e aromáticas*. Itajaí, SC: Ministério de Meio Ambiente, Fundo Nacional do Meio Ambiente, 1997, 456 p.
10. Lee, H. C.; Cheng, S. S.; Chang, S. T. Antifungal property of the essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum* leaf against tree pathogenic fungi. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 85, n. 12, p. 2047-2053, 2005.
11. De Cássia Aleixo G, Silva MS, De Abreu Martins HH, Carvalho RMB., Ramos EM, Piccoli RH. Effect of essential oils and major compound on *Clostridium botulinum* endospores inoculated in meat product. *Res., Soc. Dev.* 2022;7:e38811729854-e3881172985.
12. BARROS, J. C.; CONCEIÇÃO, M. L.; GOMES NETO, N. J.; COSTA, A. C. V.; SOUZA, E. L. Combination of *Origanum vulgare* L. essential oil and lactic acid to inhibit *Staphylococcus aureus* in meat broth and meat model. *Brazilian*

Journal of Microbiology, v. 43, n. 3, p. 1120-1127, 2012.

13. Nostro, A.; Blanco, A. R.; Cannatelli, M. A.; Enea, V.; Flamini, G.; Susceptibility of methicillin - resistant staphylococci to oregano essential oil, carvacrol and thymol. FEMS Microbiology Letters, v. 230, n. 2, p. 191-195, 2004.
14. Martins HHDA, Simões LA, Isidoro SR, Nascimento SDS, Alcântara JP, Ramos EM, Piccoli RH. Preservative of Essential Oil Blends: Control of *Clostridium perfringens* Type a in Mortadella. Brazilian. Braz. Arch. Biol. Technol. 2021;64:1-9.
15. National Committee For Clinical Laboratory Standards. Methods for dilution antimicrobial susceptibility tests for bacteria that grow aerobically: approved standard. 6th ed. Wayne, 2003. 88 p. (NCCLS Document, M7-A6).
16. Lundém, J. M. et al. Adaptive and cross-adaptive responses of persistent and non-persistent *Listeria monocytogenes* strains to disinfectants. International Journal of Food Microbiology, Amsterdam, v. 82, n. 3, p. 265-272, May 2003.
17. Luz, I. S. et al. Evidence for no acquisition of tolerance in *Salmonella typhimurium* ATCC 14028 after exposure to subinhibitory amounts of *Origanum vulgare* L. essential oil and carvacrol. Applied and Environmental Microbiology, v. 78, p. 5021-5024, 2012.
18. Pinelli JJ, Martins, HHDA, Guimarães AS, Isidoro SR, Gonçalves MC, Junqueira de Moraes TS, Ramos EM, Piccoli, RH. Essential oil nanoemulsions for the control of *Clostridium sporogenes* in cooked meat product: An alternative? LWT. 2021;143:111123.
19. D Hentges D, Zart N, Marmitt LG, Oliveira EC, Scherer F. Concentrações de nitrito e nitrato em salsichas. Rev. Bras. Prom. Saúde. 2016;1:27-33
20. Iamarino LZ, Oliveira MC, Antunes MM, Oliveira M. Rodrigues RO, Zanin CICB., Márcio S, Lima AA. Nitritos e nitratos em produtos cárneos enlatados e/ou embutidos. Gestão em Foco. 2015;7:246-251.
21. Nader M, Hosseininezhad, B, Berizi E, Mazloomi SM, Hosseinzadeh S, Zare M, Derakhshan Z, Conti GO, Ferrante M. The residual nitrate and nitrite levels in meat products in Iran: A systematic review, meta-analysis and health risk assessment. Environ. Research. 2022; 207:112180.
22. Go Cruz TS, Da Paixão JA. Aplicação do óleo essencial de *Melaleuca alternifolia* (TEA TREE) no tratamento da acne vulgar. Revista Artigos. Com. 2021; 29:e7657-e7657.
23. Maciel AR, Feio KM, Jacó LS, Costa TAN, Flores AS, De Moraes RKS. PRODUÇÃO DE SABÃO A PARTIR DO ÓLEO ESSENCIAL EXTRAÍDO DA ESPÉCIE *Cymbopogon citratus* (CAPIM LIMÃO). Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR, ISSN 2447-1208. 2019; 1.
24. Bezerra TPW, Bandeira ARG, Lima SHP, Andrade PL. A nanotecnologia aplicada ao desenvolvimento de fármacos: revisão integrativa da literatura. Res., Soc. Dev. 2022; 14: e99111436115-e99111436115.
25. Ferreira LRM, Chitolina L, Dias IC, Endres CM, Duarte MAT. Inovação nanotecnológica em embalagens bioativas para alimentos perecíveis—uma revisão. Revista e-TECH: Tecnologias para Competitividade Industrial. 2022;2:p.

- 1-12.
26. Pereira RJ, Cardoso MG. Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. *J. Biotech. Biod.* 2012;4:146152.
 27. Simões CMO, Schenkel EP, De Mello JCP, Mentz LA, Petrovick, PR. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6. ed. Porto Alegre: UFSC/UFRGS; 2007.
 28. Pamphile JA, Costa AT, Rosseto P, Polonio JC, Pereira JO, Azevedo JL. Aplicações biotecnológicas de metabólitos secundários extraídos de fungos endofíticos: o caso do *Colletotrichum* sp. *Revista Uningá*. 2017; 1:113-119.
 29. ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 9235. *Aromatic natural Raw Materials: Vocabulary*, item 2.11. Genebra, 2013.
 30. De Souza SP, Valverde SS, Da Silva RL, Lima KDSC, Lima ALDS. Óleos essenciais como inibidores da acetilcolinesterase. *Rev. Fitos Elet.* 2013; 4:259-266.
 31. Borges ADC, De Carvalho CEG, De Souza JRL, Morato EF, Cadaxo-Sobrinho ES, Marques DD. Avaliação da composição química e atividade larvicida do óleo essencial de *cymbopogon nardus* no controle de *aedes aegypti* na Amazônia sul-occidental. *Holos*. 2021;5:1-13.
 32. Gobbo-neto L, Lopes NP. *Quím. Nova*. 2007; 2:374-381.
 33. Rocha TS, Santana ALCM, Müller TS, Machado M, De Oliveira GL. Variabilidade química de óleos essenciais de *Protium heptaphyllum*. *Res., Soc. Dev.* 2022; 10:e288111032835-e288111032835.
 34. Sakkas H, Papadopoulou C. Antimicrobial activity of Basil, Oregano, and Thyme essential oils. *J. Microb. Biotec.* 2017; 3:429-438.
 35. Dewick PM. *Medicinal natural products: a biosynthetic approach*. 2a ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2009.
 36. Pinelli JJ, Martins, HHDA, Guimarães AS, Isidoro SR, Gonçalves MC, Junqueira de Moraes TS, Ramos EM, Piccoli, RH. Essential oil nanoemulsions for the control of *Clostridium sporogenes* in cooked meat product: An alternative? *LWT*. 2021;143:111123.
 37. Dias NAA, Pinelli, JJ, Silva MS, Isidoro SR, De Abreu Martins, HH, Gonçalves MC, Ramos EM, Piccoli RH. Viability of *Clostridium difficile* in mortadella with added essential oils and reduced sodium nitrite content. *Res., Soc. Dev.* 2022; 9:e22111931106-e22111931106.

Capítulo 17

Doi.org/10.53934/9786599965814-17

ANÁLISE DA TOXICIDADE MATERNA E EMBRIOFETAL DA ADMINISTRAÇÃO DO EXTRATO AQUOSO DAS FOLHAS DE *Moringa oleifera* EM RATAS

Daniel Medeiros Nunes *; Matheus Willyan Ferreira dos Santos ; Givaldo Gabriel Alves da Silva ; Marcio Michael Pontes ; Priscilla Barbosa Sales de Albuquerque ; Natalie Emanuelle Ribeiro Rodrigues 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: daniel.medeirosnunes@upe.br

Resumo: A *Moringa oleifera* é uma planta muito utilizada na medicina tradicional, mas são escassas as pesquisas que avaliem seu efeito tóxico durante a gestação. Dessa forma, o trabalho se propôs a avaliar os efeitos da administração oral do extrato aquoso das folhas da *M. oleifera* (EAFMo) durante o período de pré-implantação em Ratas Wistar. Para isso, foram utilizadas 20 Ratas Wistar Albinos, que após acasalamento foram divididas em quatro grupos (n=5), tratadas diariamente, via oral, do 1º ao 6º dia de prenhez com água potável ou com o EAFMo nas doses de 250, 500 e 1000 mg/Kg. No sétimo dia da prenhez, foi realizada a quantificação do número de implantações, os ovários foram coletados, pesados e os corpos lúteos contados. Os órgãos maternos foram coletados, pesados e avaliados quanto à presença de alterações macroscópicas. Além disso, sinais clínicos de toxicidade, consumo de ração, de água e o ganho de peso foram avaliados diariamente. Não foram observados sinais clínicos de toxicidade e não houve diferença no consumo de água, ração e no peso corpóreo das fêmeas tratadas quando comparado ao grupo controle. No entanto, no grupo que recebeu a maior dose, foi observado um aumento no peso absoluto e relativo dos ovários, mas sem haver alteração no peso dos demais órgãos. Com os dados obtidos, é possível concluir que a administração do EAFMo em diferentes doses durante a pré-implantação não causa toxicidade sistêmica materna nos parâmetros avaliados, entretanto a ação do EAFMo sobre os ovários precisam ser melhor investigada.

Palavras-chave: reprodução; embriofetotoxicidade; planta medicinal; moringa

Abstract: *Moringa oleifera* is a plant widely used in traditional medicine, but research evaluating its toxic effect during pregnancy is scarce. Thus, the study aimed to evaluate the effects of oral administration of the aqueous extract of *M. oleifera* leaves (EAFMo) during the pre-implantation period in Wistar rats. For this, 20 Wistar Albino Rats were used, which after mating were divided into four groups (n=5), treated daily, orally, from the 1st to the 6th day of pregnancy with drinking water or with EAFMo at doses of 250, 500 and 1000 mg/Kg. On the seventh day of pregnancy, the number of implantations was quantified, the ovaries were collected, weighed and the corpora lutea counted. The maternal organs were collected, weighed and evaluated for the presence of macroscopic alterations. In addition, clinical signs of toxicity, feed and water consumption and weight gain were evaluated daily. No clinical signs of toxicity were observed and there was no difference in the consumption of water, food and body weight of the treated females when

compared to the control group. However, in the group that received the highest dose, an increase in the absolute and relative weight of the ovaries was observed, but with no change in the weight of the other organs. With the data obtained, it is possible to conclude that the administration of EAFMo in different doses during pre-implantation does not cause maternal systemic toxicity in the evaluated parameters, however the action of EAFMo on the ovaries needs to be better investigated.

Key Word: reproduction; embryofetotoxicity; medicinal plant; moringa

INTRODUÇÃO

Plantas medicinais são utilizadas em diversas partes do mundo como recursos terapêuticos por várias populações, entre elas as gestantes. A maioria das plantas com potencial fitoterapêutico não recebe a atenção adequada relacionada à sua potencial toxicidade e, para a maioria delas, não existem dados acerca de sua segurança de uso, principalmente durante a gestação (1). Um dos problemas mais preocupantes do consumo indiscriminado de plantas medicinais são seus possíveis efeitos embriotóxicos, abortivos e teratogênicos, uma vez que compostos podem atravessar a placenta, chegando ao feto (2).

A *Moringa oleifera*, uma planta de hábito arbóreo, pertence à família Moringaceae e conhecida como “acácia-branca”, é nativa da Índia e do sul do Himalaia e, atualmente, encontra-se disseminada entre diversos países tropicais e subtropicais (3). No Brasil, a espécie adaptou-se de forma satisfatória ao semiárido nordestino devido às condições edafoclimáticas da região (4). Suas diversas partes são comumente utilizadas na medicina tradicional e suas atividades farmacológicas antidiabéticas, anti-hipertensivas, hepatoprotetoras, antimicrobianas, anticâncer e antiespasmódicas já vêm sendo amplamente estudada (5).

A avaliação de segurança e eficácia da *M. oleifera* demonstrou um alto grau de segurança quando administrada de forma aguda e subaguda em diferentes doses (6). Porém, são escassas as pesquisas que avaliem o efeito tóxico do extrato aquoso de suas folhas durante a gestação. No Brasil, a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), através da Resolução RE Nº 1.478, DE 3 DE JUNHO DE 2019, proibiu a fabricação, importação, comercialização, propaganda e a distribuição de todos os alimentos que contenham *Moringa oleifera* como constituinte e outras formas de preparações como chás, cápsula e o próprio insumo, alegando não haver avaliação e comprovação de segurança do seu uso em alimentos (7).

Tendo em vista a vasta utilização da Moringa e os riscos da ingestão de substâncias com possível interferência sobre o processo reprodutivo, este estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do extrato aquoso das folhas de *M. oleifera* (EAFMo) durante o período de pré-implantação de ratas Wistar.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação do material botânico e do extrato aquoso

As folhas de *Moringa oleifera* foram coletadas no Campus da Universidade de Pernambuco (UFPE), localizado no estado de Pernambuco, Brasil, durante o mês de novembro de 2020. As folhas de *M. oleifera* foram secas em estufa a $(45 \pm 2^\circ\text{C})$ e moídas em moinho de facas. Para a obtenção do extrato, a matéria-prima vegetal foi submetida à decocção (10:100 m/v) usando água destilada como solvente extrator, com posterior filtração e liofilização (-80°C e 4,58 mmHg). O extrato aquoso das folhas de *Moringa oleifera* (EAFMo) apresentou rendimento de 19,53% e foi armazenado a 4°C até a realização dos experimentos. Para a realização dos testes *in vivo*, o EAFMo foi diluído em água destilada a fim de se obter as soluções em concentrações adequadas para administração correta das doses utilizadas neste estudo (250, 500 e 1000 mg/kg), de acordo com a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) (8).

Triagem fitoquímica do EAFMo

As principais classes de compostos químicos foram identificadas através dos métodos propostos por Matos (1997) (9) e Desoti et al. (2009) (10). Foi utilizado 1mg/mL do EAFMo para os testes químicos qualitativos. A presença de esteroides foi avaliada pela reação de Liebermann-Buchard, enquanto a de taninos foi através da precipitação de sais de ferro. Flavonoides foram pesquisados pelas reações de Shinoda e Taubouk, enquanto saponinas foram analisadas pela persistência da espuma após agitação do extrato. Ademais, a avaliação da presença de fenois, flavonas, flavonois, xantonas, catequinas, antocianinas, antocianidinas, terpenoides e flavononas foram testadas com o uso de reagentes químicos específicos, como descrito na tabela 1. A interpretação foi feita baseada nas características visuais.

A detecção do grupo químico alcaloides foi realizada por cromatografia em camada delgada (CCD) utilizando eluentes específicos e sistemas de desenvolvimento de acordo com Cechinel Filho e Yunes (1998) (11).

Tabela 1: Prospecção fitoquímica do extrato aquoso das folhas de *Moringa oleifera*.

Metabólitos secundários	Reações de caracterização	Mudanças observadas nos resultados positivos
Esteróides	Liebermann-Burchard	Coloração verde
Terpenoides	$\text{Na}_2\text{SO}_4/\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$	Mudança de coloração
Saponinas	Formação de espuma	Espuma persistente
Alcalóides	CCD Reagente de Dragendorff	-
Fenois	FeCl_3	Mudança de coloração variando de azul a vermelho
Taninos Condensáveis/hidrolizáveis	Precipitação com sais de ferro	Precipitado azul ou verde
Flavonas, flavonois e xantonas	Reação de acidulação/alcalinização	Mudança de coloração

Fonte: O autor (2023).

Animais e grupos experimentais

Foram utilizadas ratas Wistar albinos (*Rattus norvegicus*) pesando entre 180-240g, provenientes do biotério da Universidade Federal Rural de Pernambuco, mantidos a 22 ± 2 °C com ciclos claro-escuro de 12 horas, umidade ($60 \pm 1\%$) e água e ração *ad libitum*. Todo o uso animal foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal Rural de Pernambuco (n.º 2589020720).

Acasalamento

Em consonância com a Diretriz da OCDE 421 (8), fêmeas nulíparas foram colocadas em contato com o macho adulto na proporção 2:1, no início do ciclo da fase escura. Após 12 horas (início da fase clara), foi realizado o lavado vaginal com NaCl 0,9% para posterior análise em microscopia óptica. A confirmação do acasalamento foi feita baseada na presença de espermatozoide no lavado vaginal coletado associado ao diagnóstico da fase estro do ciclo estral. Assim, a presença do espermatozoide determinou o dia 0 de prenhez. Os acasalamentos foram mantidos até a obtenção do número suficiente de ratas prenhes (n =20).

Administração do EAFMo durante o período de pré-implantação e testes de toxicidade materna e embrionfetal

Após acasalamento, as ratas foram divididas aleatoriamente em quatro grupos experimentais (n = 5/ grupo), tratados durante a fase pré-implantação (1 dia ao 6º dia de gestação), sendo administrado 5 ml/kg de água potável como veículo controle (grupo 1) ou o EAFMo nas doses de 250, 500 e 1000 mg/kg/dia (grupos 2, 3 e 4, respectivamente). Durante esse período, os animais foram monitorados para análise da toxicidade sistêmica materna, como irritabilidade, convulsões, ataxia, sedação, diarreia, cianose, queda de pelos e óbitos, além do consumo de água, ração e ganho de peso.

No 7º dia da prenhez, as ratas foram anestesiadas intraperitonealmente (i.p.) com quetamina (60 mg/kg) e xilazina (6 mg/kg). Em seguida, foi realizada uma laparotomia e seus cornos uterinos foram removidos para a quantificação do número de implantações. Os ovários foram coletados, pesados e seus corpos lúteos contados. A taxa de perda de pré-implantação foi determinada utilizando a seguinte fórmula: Perdas pré-implante: = [(Número de corpos lúteos – número de implantações)/Número de corpos lúteos] x 100. Os órgãos maternos (timo, coração, pulmões, fígado, rins, baço e ovários) foram coletados, pesados e avaliados quanto à presença de alterações macroscópicas. O peso relativo dos órgãos foi calculado pela razão entre o peso do órgão e o peso corporal das fêmeas no dia do sacrifício x 100.

Análise estatística

Os valores foram expressos como média \pm desvio padrão da média (D.P.M) ou mediana. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o programa Prism 5.0®. A homogeneidade das variâncias foi testada pelo método de Bartlett. Variâncias homogêneas foram analisados por ANOVA, seguidos, quando necessário, pelo teste de Tukey. Para dados que não assumiram distribuição normal, foram empregados os testes

não-paramétricos de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de Dunn. O nível de significância para rejeição da hipótese de nulidade foi fixado em 5% ($p < 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Prospecção fitoquímica do EAFMo

De acordo com a metodologia utilizada, a prospecção fitoquímica evidenciou a presença de taninos condensados, flavanonas, flavonóis, flavononas, flavanonóis, xantonas e esteróis. É válido ressaltar que resultados negativos para a presença de determinados metabólitos não implicam necessariamente em sua ausência; isto ocorre porque a quantidade dos mesmos, quando em escala inferior a semimicro, muitas vezes não é detectada na análise qualitativa (12). Além disso, o método de extração e o tipo de solvente extrator também pode ter influência na extração dos fitoconstituintes (13).

A ampla gama de fitoconstituintes da *Moringa oleifera* contribuem para seu inúmeros usos farmacológicos (14). Os compostos fenólicos constituem um dos principais compostos bioativos em plantas e são conhecidos por terem propriedade antimicrobiana, antifúngica, antiinflamatória, antioxidante e anticâncer (15-19). Flavonoides estão relacionados com atividades antimicrobianas (20) e estudos vêm indicando bons resultados de taninos no processo de cicatrização de feridas (21). A literatura indica que saponinas, encontradas em abundância em *M. oleifera*, são conhecidas por terem ter alta resistência contra pragas, favorecendo o uso como piscicida (22); além de papel regulatório no colesterol sanguíneo e função no tratamento de doenças cardiovasculares (19). Já os alcalóides vêm sendo estudados como uma importante substância com atividades antimicrobianas e analgésicas (23).

Sinais sistêmicos de toxicidade materna

A avaliação do desempenho reprodutivo feminino é um parâmetro muito importante para a análise da toxicidade perinatal de drogas (24). A toxicidade materna é definida como uma alteração transitória ou permanente na fisiologia da mãe, que inclui alterações hormonais, comportamentais e homeostáticas, que podem causar inúmeros efeitos na prole durante o desenvolvimento embriofetal ou pós-natal (25). Ela pode ser caracterizada por redução significativa no ganho de peso corporal, sinais clínicos de toxicidade, redução do consumo de ração ou água, alterações nos parâmetros reprodutivos, variações hematológicas e morte (26).

Durante a pré-implantação, as ratas tratadas diariamente com o extrato aquoso das folhas de *M. oleifera* não apresentaram sinais sintomáticos de toxicidade sistêmica, como irritabilidade, convulsões, ataxia, sedação, diarreia, cianose e perda de pelos, além de não terem sido relatados óbitos. O ganho de peso das progenitoras durante o período gestacional apresentou padrão de crescimento normal entre os grupos tratados com o EAFMo e o grupo controle (Figura 1A). Da mesma forma, não foi observado alteração do consumo de água (Figura 1B) e ração (Figura 1C), quando comparadas aos grupos controle.

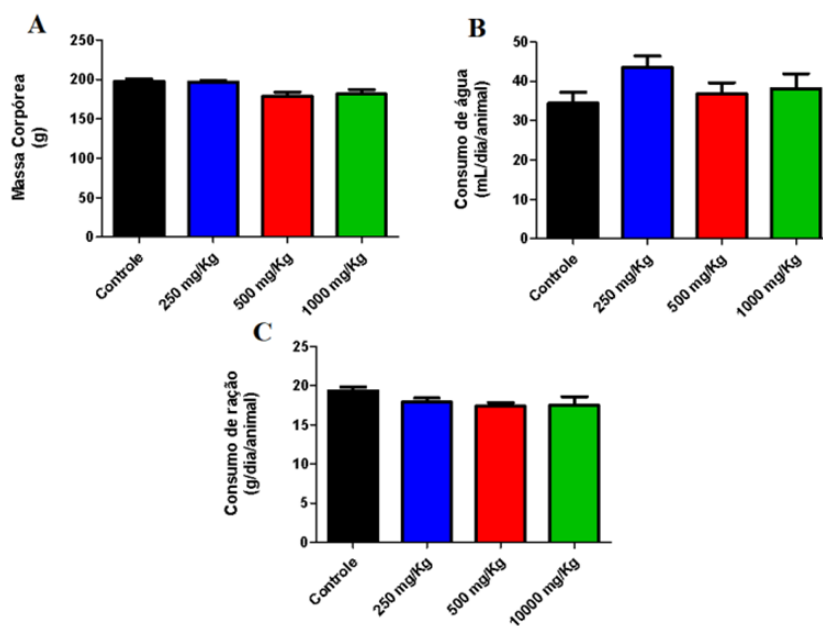


Figura 1: Efeito do extrato aquoso das folhas de *Moringa oleifera* (EAFMo) na massa corpórea de ratas Wistar (A), consumo de água (B) e consumo de ração (C) entre os grupos controle e tratados durante o período de pré-implantação (1° ao 6° dia de prenhez). Os valores representam as médias \pm d.p.m. (n= 5/grupo). Não significativo vs grupo controle, ANOVA seguido pelo teste de Tukey. Fonte: O autor (2023).

Variáveis reprodutivas

A análise das variáveis reprodutivas perpassa pela avaliação dos ovários, que permite investigar sua função hormonal e importantes índices reprodutivos pela contagem do número de corpos lúteos; além de observação cuidadosa do útero para contagem dos locais de implantação e reabsorções (8).

A exposição diária ao EAFMo em diferentes doses não foi capaz de acarretar em diferenças entre os números de corpos lúteos dos tratados 2, 3 e 4 ($12,4 \pm 2,07$; $12 \pm 2,23$; $12,4 \pm 2,6$ respectivamente) em relação ao grupo controle ($9,125 \pm 2,99$), assim como o número de implantações dos tratados 2, 3 e 4 ($10,8 \pm 1,92$; $10,8 \pm 2,28$; $8,6 \pm 2,3$ respectivamente) não foi diferente ao grupo controle ($10,33 \pm 2,33$).

Sabe-se que o índice de implantação correlaciona os corpos lúteos com o número de implantações no corno uterino, correspondendo a um indicador do sucesso reprodutivo. Já a presença de reabsorções indica uma falha no andamento do desenvolvimento embrionário (27). Com os dados obtidos neste estudo, verificou-se que a administração do EAFMo durante o período de pré-implantação não alterou o número de blastocistos implantados e o índice de reabsorção entre os grupos controle e tratados.

Pesos absolutos e relativo dos órgãos

De acordo com os dados apresentados na Tabela 2, as ratas tratadas durante a pré-implantação não apresentaram diferença significativa no peso relativo e absoluto dos órgãos (timo, coração, pulmões, fígado, rins, baço); entretanto, o peso absoluto ($0,10 \pm 0,008$) e relativo ($0,05 \pm 0,006$) dos ovários expressou aumento estatisticamente significativo nas ratas tratadas com a maior dose do EAFMo (1000 mg/kg), quando

comparado ao grupo controle ($0,08 \pm 0,007$; $0,04 \pm 0,01$ respectivamente), conforme exposto na figura 2.

Tabela 2: Efeito do extrato aquoso das folhas de *Moringa oleifera* (EAFMo 250, 500 e 1000 mg/Kg), por via oral sobre a massa absoluta (g) e relativa (%) dos órgãos de ratas Wistar tratados durante o período da pré-implantação (1° ao 6° dia de prenhez).

Órgãos	Controle	250 mg/Kg	500 mg/Kg	1000 mg/Kg
Fígado (g)	$12,98 \pm 1,37$	$9,68 \pm 1,19$	$8,79 \pm 0,55$	$9,23 \pm 1,99$
Fígado (%)	$4,42 \pm 0,62$	$4,67 \pm 0,46$	$4,61 \pm 0,20$	$4,45 \pm 0,64$
Rim (g)	$1,60 \pm 0,19$	$1,57 \pm 0,12$	$1,54 \pm 0,12$	$1,55 \pm 0,21$
Rim (%)	$0,54 \pm 0,05$	$0,77 \pm 0,06$	$0,80 \pm 0,02$	$0,75 \pm 0,06$
Baço (g)	$0,70 \pm 0,09$	$0,99 \pm 0,06$	$0,84 \pm 0,04$	$0,87 \pm 0,13$
Baço (%)	$0,23 \pm 0,30$	$0,48 \pm 0,02$	$0,45 \pm 0,04$	$0,42 \pm 0,04$
Coração (g)	$0,84 \pm 0,18$	$0,73 \pm 0,05$	$0,75 \pm 0,07$	$0,78 \pm 0,03$
Coração (%)	$0,28 \pm 0,04$	$0,35 \pm 0,03$	$0,39 \pm 0,02$	$0,38 \pm 0,03$
Pulmões (g)	$1,53 \pm 0,27$	$1,26 \pm 0,02$	$1,25 \pm 0,06$	$1,25 \pm 0,14$
Pulmões (%)	$0,51 \pm 0,08$	$0,61 \pm 0,02$	$0,65 \pm 0,04$	$0,60 \pm 0,01$
Timo (g)	$0,40 \pm 0,09$	$0,46 \pm 0,06$	$0,35 \pm 0,08$	$0,45 \pm 0,11$
Timo (%)	$0,21 \pm 0,03$	$0,22 \pm 0,04$	$0,19 \pm 0,04$	$0,22 \pm 0,03$

Valores representam a média \pm desvio padrão da média (n = 5/grupo). Não significativo vs grupo controle, ANOVA seguido pelo teste de Tukey. Fonte: O autor (2023).

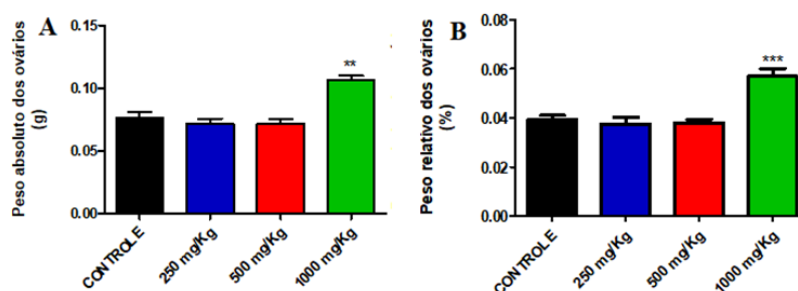


Figura 2: Efeito do extrato aquoso das folhas de *Moringa oleifera* (EAFMo) sobre o peso absoluto (A) e relativo (B) dos ovários de ratas Wistar dos grupos controle e tratados durante o período de o período pré-implantação (1° ao 6° dia de prenhez). Os valores representam as médias \pm d.p.m. (n= 5/grupo). Não significativo vs grupo controle, ANOVA seguido pelo teste de Tukey. Fonte: O autor (2023).

Os corpos lúteos são os principais responsáveis pela secreção de progesterona e possuem relação direta com a quantidade de oócitos liberados durante a ovulação, o que

permite uma análise do número real de oócitos fertilizados (28). Seu volume aumenta à medida que a gravidez progride (29) e seu crescimento está intimamente correlacionado com o aumento da secreção de progesterona e 20-hidroxi-progesterona (30), hormônios indispensáveis à manutenção da prenhez de ratas. Uma vez que foi observado aumento no peso absoluto e relativo dos ovários do grupo tratado com o EAFMo na dose de 1000 mg/mL, pode-se supor que a ocorrência esteja relacionada com o aumento da concentração sérica da 20-hidroxiprogesteroana.

CONCLUSÕES

A administração do extrato aquoso das folhas de *Moringa oleifera* nas doses de 250, 500 e 1000 mg/kg durante o períodos de pré-implantação de ratas Wistar não induziu toxicidade materna nem fetal, bem como não alterou os parâmetros de desempenho reprodutivo, apesar de ter causado aumento do peso absoluto e relativo dos ovários quando administrado na maior dose. Sugere-se o desenvolvimento de mais estudos de toxicidade em diferentes modelos experimentais para maior aprofundamento na avaliação da segurança de sua administração.

REFERÊNCIAS

1. Araújo, M.C.P.M., Barcellos, N.M.S., Vieira, P. M. A., Gouveia, T.M., Guerra, M.O., Peters, V. M. et al. Acute and sub chronic toxicity study of aqueous extract from the leaves and branches of *Campomanesia velutina* (Cambess) O. Berg. *Journal of Ethnopharmacology*. 2017; 201:17–25.
2. BRASIL. Resolução SES Nº 1757, de 18 de fevereiro de 2002. Contra-indica o uso de Plantas Medicinais no Âmbito do Estado do Rio de Janeiro e dá outras providências. *Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro*, 20 fev. 2002, v.27, n.33. Parte I.
3. Leone, A., Spada, A., Battezzati, A., Schiraldi, A., Aristil, J., Bertoli, S. *Moringa oleifera* Seeds and Oil: Characteristics and Uses for Human Health. *Int J Mol Sci*. 2016;17(12):1–14.
4. Oliveira, F.A., Oliveira, M.K.T., Silva, R.C.P., Silva, O.M.P., Maia, P.M.E., Cândido, W.S. Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. *Revista Árvore*. 2013;37(1):79–87.
5. Chhikara, N., Kaur, A., Mann, S., Garg, M.K., Sofi, S.A., Panghal, A. Bioactive compounds, associated health benefits and safety considerations of *Moringa oleifera* L.: an updated review. *Nutrition & Food Science*. 2020;51(2),255–277.
6. Stohs, S.J., Hartman, M.J. Review of the Safety and Efficacy of *Moringa oleifera*. *Phytotherapy Research*. 2015;29(6),796–804.
7. BRASIL. Resolução-RE Nº 1.478, de 3 de junho de 2019. Proíbe a comercialização, distribuição, fabricação, importação e propaganda de alimentos que apresentem *Moringa*

oleifera na sua composição, em quaisquer formas de apresentação. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 106 ed, p. 42, 04 jun. 2019. Seção 1.

8. ORGANISATION FOR ECONOMIC COOPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). Guidelines for testing of chemicals, OECD 421. Reproduction/developmental toxicity screening test. Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, 2015.

9. Matos, F.J.A. Introdução à fitoquímica experimental. 2ª ed. Fortaleza: Edições UFC, 1997.

10. Desoti, V. C., Maldaner, C. L., Carletto, M. S., Heinz, A. A., Coelho, M. S., Dewick, P. M. The mavalonate and methylerythriol phosphate pathways: terpenoids and steroids. In: Medicinal Natural Products: a biosynthetic approach. 3 ed, Chichester: Jhon Wiley e Sons; 2009.

11. Cechinel Filho, V., Yunes, R.A. Estratégias para obtenção de compostos farmacologicamente ativos a partir de plantas medicinais. Conceitos sobre modificação estrutural para otimização da atividade. Química Nova. 1998; 21; 99–105.

12. Harbone, A.J. Phytochemical methods: a guide to modern techniques of plant analysis. London: Chapman & Hall; 1998.

13. Tijani, A.Y., Okhale, S.E., Salawu, T.A., Onigbanjo, H.O., Obianodo, L.A., Akingbasote, J. A. et al. Antidiarrhoeal and antibacterial properties of crude aqueous stem bark extract and fractions of *Parkia biglobosa* (Jacq) R. Br. Ex G. Don. African Journal of Pharmacy and Pharmacology. 2009;3(7);347–353.

14. Rani, N.Z.A., Husain, K., Kumolosasi, E. Moringa Genus: A Review of Phytochemistry and Pharmacology. Front Pharmacol. 2018;16(9):1–26.

15. Kumar, A., Shukla, R., Singh, P., Prasad, C. S., Dubey, N. K. Assessment of *Thymus vulgaris* L. essential oil as a safe botanical preservative against post harvest fungal infestation of food commodities. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2008;9(4):575–580.

16. Moyo, B., Masika, P.J., Hugo, A., Voster, M. Nutritional Characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Leaves. African Journal of Biotechnology. 2011;10 (60): 12925–12933.

17. Wang, Y.P., Tang, J.S., Chu, C.Q., Tian, J. A Preliminary Study on the Introduction and Cultivation of *Crambe abyssinica* in China, an Oil Plant for Industrial Uses. Industrial Crops Products. 2000;12 (1): 47–52.








18. Onwuliri, F. Antimicrobial Studies of the Extracts of *Acalypha lkesiana* L. on Microorganisms Associated with Wound and Skin Infections.” West African Journal of Biological Science. 2004;15: 15–19.

19. Trease, E., W. Evans. Pharmacognosy. In Williams Charles Evans. 15^a ed. London: Saunders Publisher; 2004.
20. Ekpo, M.A., Etim, P.C. Antimicrobial Activity of Ethanolic and Aqueous Extracts of *Sidaacuta* on Microorganisms from Skin Infections. *Journal of Medicinal Plant Research*. 2010;3:621–624.
21. Sule, W.F., Okonko, I.O., Joseph, T.A., Ojezele, M.O., Nwanze, J.C., Alli, J. A. In-vitro Antifungal Activity of *Senna alata* Linn. Crude Leaf Extract. *Advanced Applied Science Research*. 2010;1: 14–26.
22. Cannon, J. G., Burton, R.A., Wood, S.G., Owen, N.L. Naturally Occurring Fish Poisons from Plants.” *Journal of Chemical Education*. 2004;81(10):1457 –1461.
23. Okwu, D.E. Phytochemical and Vitamins Content of Indigenous Species in South Eastern Nigeria. *Journal of Sustainable Agricultural Environment*. 2004;6:30–34.
24. Lemonica, I.P., Damasceno, D.C., Di-Stasi, L.C. Study of the embryotoxic effects of an extract of rosemary (*Rosmarinus officinalis* L.). *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. 1996;29(2):223–227.
25. Khera, K. S. Maternal toxicity – A possible factor in fetal malformations in mice. *Teratology*. 1984;29:411–416.
26. Ezeja, M.I., Anaga, A.O., Asuzu, I.U. Acute and sub-chronic toxicity profile of methanol leaf extract of *Gouania longipetala* in rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 2014;151(3):1155–1164.
27. Chang, C.V., Felício, A.C., Reis, J.E.P., Guerra, M.O., Peters, V.M. Fetal toxicity of *Solanum lycocarpum* (Solanaceae) in rats. *Journal of Ethnopharmacology*. 2002;81(2): 265–269.
28. Kato, H., Morishige, W.K., Rothchild, I.A quantitative relation between the experimentally determined number of conceptuses and corpus luteum activity in the pregnant rat. *Endocrinology*. 1979;105:846–850.
29. Waynforth, H.B. Changes in the volume of rat corpus luteum during pregnancy and after surgical interference with the uterus and placenta. *Acta Endocrinologica*. 1971;66:296–302.
30. Uchida, K., Kadowaki, M., Nomura, Y., Miyata, K., Miyake, T. Relationship between ovarian progesterin secretion and corpora lutea function in pregnant rat. *Endocrinology Japonica*. 1970;17:499–507.

Capítulo 18

Doi.org/10.53934/9786599965814-18

ASTAXANTINA: FONTES, ESTRUTURA, POTENCIAL BIOATIVO E ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO

Flaviana Coelho Pacheco *; Ana Flávia Coelho Pacheco *; Wilson de Almeida Orlando Junior ; Kely de Paula Correa ; Tatiane Teixeira Tavares ; Mateus Aparecido dos Santos ; Paulo Henrique Costa Paiva 

*Autor correspondente – Email: flaviana.pacheco@ufv.br

Flaviana Coelho Pacheco, Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos UFV e Membro do Laboratório de Inovação no Processamento de Alimentos – LIPA/DTA/UFV. Prof. Dra. Ana Flávia Coelho Pacheco, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. Dra. Kely de Paula Correa, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. Dr. Wilson de Almeida Orlando Junior, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Dra. Tatiane Teixeira Tavares, Bolsista de pesquisa nível I do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Mateus Aparecido Santos, Estudante de Ciências Biológicas - UNIACADEMIA

Prof. Dr. Paulo Henrique Costa Paiva, Professor/pesquisador do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Resumo: A astaxantina é um carotenóide pertencente à subclasse xantofila. As fontes naturais de astaxantina incluem bactérias, fungos, algas, crustáceos e certos peixes. Este carotenóide exerce excelentes propriedades biológicas que tem despertado atenção na indústria de alimentos e farmacêuticas. No entanto, a baixa solubilidade em água e a instabilidade química restringem sua biodisponibilidade e aplicação da astaxantina. Assim, é necessário encontrar métodos eficazes para proteger a astaxantina contra a degradação e exercer ainda mais seus potenciais benefícios na intervenção nutricional. Uma das principais estratégias utilizadas para isso é o encapsulamento da astaxantina, que consiste em criar uma barreira sobre o componente ativo, protegendo-o contra os efeitos de fatores ambientais. Existem diferentes métodos que podem ser realizados para o encapsulamento da astaxantina, incluindo lipossomas e “spray drying”. Neste contexto, nesta revisão, serão abordadas as principais fontes naturais de astaxantina, seus aspectos estruturais e potencial bioativo, bem como os desafios para sua aplicação industrial e as principais estratégias tecnológicas que viabilizam a incorporação de astaxantina em alimentos.

Palavras-chave: alimentos funcionais; nanocarreadores; encapsulamento; compostos bioativos

Abstract: Astaxanthin is a carotenoid belonging to the xanthophyll subclass. Natural sources of astaxanthin include bacteria, fungi, algae, crustaceans and certain fish. This carotenoid exerts excellent biological properties that have attracted attention in the food and pharmaceutical industry. However, low water solubility and chemical instability restrict its bioavailability and application of astaxanthin. Thus, there is a need to find effective methods to protect astaxanthin against deterioration and further exert its potential benefits in nutritional intervention. One of the main strategies used for this is astaxanthin encapsulation, which consists of creating a barrier over the active component, protecting it against the effects of environmental factors. There are different methods that can be performed for astaxanthin encapsulation, including liposomes and spray drying. In this context, this review will address the main natural sources of astaxanthin, its incorporated aspects and bioactive potential, as well as the challenges for its industrial application and the main technological strategies that enable the incorporation of astaxanthin in foods.

Key words: functional foods; nanocarriers; encapsulation; bioactive compounds

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a crescente conscientização dos consumidores a respeito de alimentação saudável tem alavancado a busca por alimentos naturais e funcionais. Os carotenoides são uma classe de pigmentos naturais lipossolúveis que tem recebido grande atenção devido às inúmeras bioatividades na indústria de alimentos e farmacêuticas (1).

Dentre os carotenoides, destaca-se a astaxantina natural, um pigmento vermelho-alaranjado lipossolúvel. A astaxantina exerce excelentes propriedades antioxidantes, bem como outras propriedades biológicas benéficas relacionadas ao dano oxidativo, como antienvelhecimento, antiinflamatório, imunomodulador, anticancerígeno, hipolipemiante e antidiabético (2, 3). A propriedade antioxidante da astaxantina demonstrou ser 1000 vezes maior que a vitamina E, 200 vezes maior que os polifenóis do chá, 17 vezes maior que da semente de uva e 10 vezes maior que os outros carotenóides, como luteína, cantaxantina, β -caroteno, zeaxantina, em algumas microalgas (4, 5, 6).

A astaxantina natural assumiu o status de “*geralmente reconhecida como segura*” (GRAS) pela Food and Drug Administration (USFDA) dos Estados Unidos (7). Isso tem fomentado seu consumo e hoje em dia é amplamente utilizado como nutracêutico, além de seu uso como pigmento natural em diferentes alimentos. Sua demanda de mercado global está se expandindo e deve atingir US\$ 2,57 bilhões em todo o mundo até 2025 (8). No entanto, ainda que o interesse em usar a astaxantina como pigmento natural em alimentos é crescente, sua incorporação em alimentos e obtenção de seus benefícios estão condicionados à superação de desafios como sua baixa biodisponibilidade e sensibilidade a fatores ambientais e de processamento (4, 5). Assim, é necessário encontrar um método eficaz para proteger a astaxantina contra a degradação e exercer ainda mais seus potenciais benefícios na intervenção nutricional (6, 7).

Neste contexto, nesta revisão, serão abordadas as principais fontes naturais de astaxantina, seus aspectos estruturais e potencial bioativo, bem como os desafios para sua

aplicação industrial e as principais estratégias tecnológicas que viabilizam a incorporação de astaxantina em alimentos.

PRINCIPAIS FONTES NATURAIS DE ASTAXANTINA

As astaxantinas disponíveis comercialmente são principalmente de origem sintética, contudo, com a crescente procura por produtos naturais, fontes naturais de astaxantina tem sido muito explorada nos últimos anos. As fontes naturais de astaxantina incluem bactérias, fungos, algas, crustáceos e certos peixes.

A astaxantina foi originalmente extraída da lagosta por Kuhn e Sorensen em 1938. Camarões, lagostas, caranguejos e krill têm concentrações substanciais de astaxantina em suas diferentes partes do corpo (López et al., 2004). Atualmente, as astaxantinas são derivadas principalmente da levedura *Phaffia Rhodozyma* e/ou *H. pluvialis* microalgas (Park, Yeo, et al., 2018).

ASPECTOS ESTRUTURAIS E POTENCIAL BIOATIVO

A astaxantina (3,3'-dihidroxi- β , β -caroteno-4,4'-diona) (Figura 1) é um pigmento solúvel em gordura e insolúvel em água com uma fórmula molecular de $C_{40}H_{52}O_4$, tendo massa molar de 596,84 g/mol e um ponto de fusão de 224 °C (4, 7).

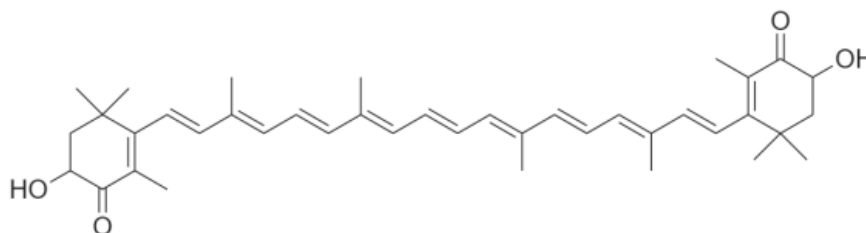


Figura 1 – Estrutura química da astaxantina. Fonte: Adaptado de Hussein et al. (9).

A astaxantina pertence à subclasse xantofila. Estruturalmente, em comparação com outras moléculas da subclasse de caroteno, a xantofila é equipada com grupos contendo oxigênio, como grupos funcionais hidroxila (-OH), aldeído (-CHO) e grupo ceto (-CO). Especificamente para a astaxantina, os grupos hidroxila (-OH) e carbonila (-CO) estão ligados a cada anel de ionona, o que explica por que a astaxantina pode exercer suas propriedades antioxidantes correspondentes (10).

O principal mecanismo de eliminação de radicais livres da astaxantina é baseado no arranjo de elétrons centralizados que prontamente doam o elétron para reduzir as moléculas de oxigênio reativas instáveis (10). O grupo hidroxila nos anéis pode formar éster com ácidos graxos, assim forma monoésteres e diésteres com um e dois ácidos graxos, respectivamente. Formas livres de astaxantina são suscetíveis à oxidação. Assim, a astaxantina encontrada naturalmente é conjugada com proteínas ou esterificada com um ou dois ácidos graxos para formar um composto estável (10, 11, 12).

Existem 3 fatores que determinam o poder antioxidante da astaxantina, bem como a biodisponibilidade e estabilidade: isomeria geométrica, isomeria óptica, e grau de esterificação (10). Em termos de isomeria geométrica, a astaxantina se encontra em diversas formas de isômeros geométricos (cis e trans) (Figura 2), devido à longa cadeia de duplas ligações conjugadas entre os dois anéis β -ionona.

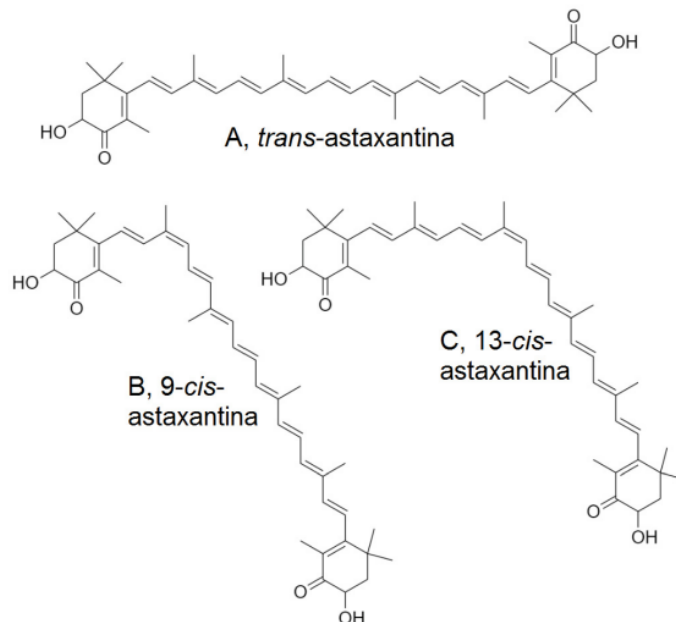


Figura 2 – Isômeros geométricos da astaxantina. Fonte: Adaptado de Hussein et al. (9).

Em termos de isomeria óptica, visto a presença de dois átomos de carbono estereogênicos nas posições C-3 e C-3', a astaxantina se encontra na forma de 3 isômeros ópticos (Figura 3): um par de enantiômeros (3R,3'R- e 3S,3'S-astaxantina) e a forma meso (3R,3'S-astaxantina), sendo esta última opticamente inativa. A configuração (3S,3'S-astaxantina) exibe maior atividade antioxidante do que (3R,3'R-astaxantina) (11). Este fenômeno é atribuído ao arranjo espacial dos átomos aumentando a biodisponibilidade da astaxantina (10, 11, 12).

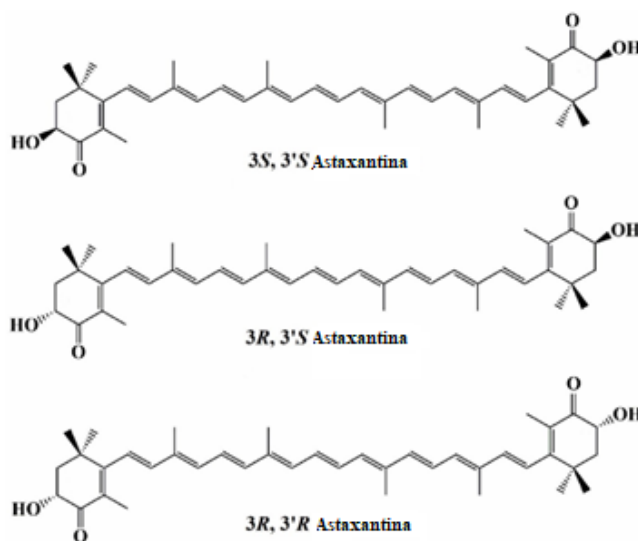


Figura 3 – Isômeros ópticos da astaxantina. Fonte: Adaptado de Hussein et al. (9).

No que se refere ao grau de esterificação, a astaxantina produzida por fontes naturais frequentemente se encontra conjugada com diversos ácidos graxos, como os ácidos oleico, eicosanóico, palmítico e esteárico (10). Existem ao todo 3 possíveis variações (Figura 4): a astaxantina na forma livre (grupos -OH ocupam ambas as posições 3 e 3'), a astaxantina monoéster (um ácido graxo ligado na posição 3) e a astaxantina diéster (dois ácidos graxos ocupando as posições 3 e 3') (11, 12).

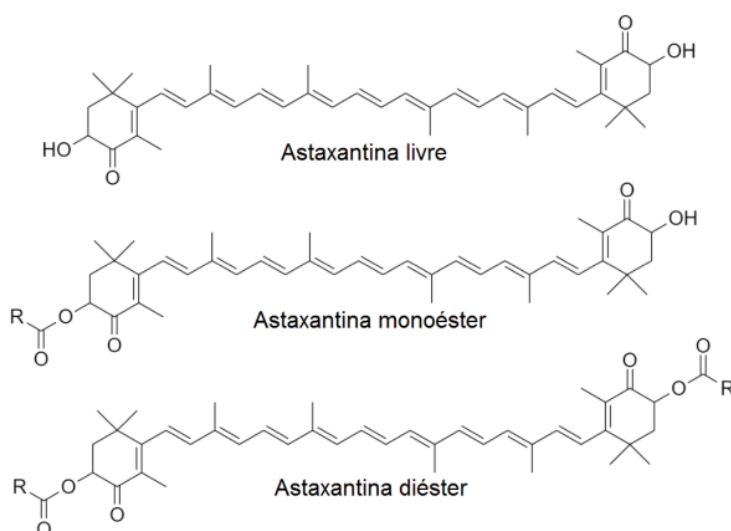


Figura 4 – Estrutura dos diferentes graus de esterificação da astaxantina. Fonte: Adaptado de Hussein et al. (9).

Diversos estudos tem mostrado que a astaxantina nas formas monoéster e diéster possui superior biodisponibilidade quando comparada à forma livre (10, 11, 12). Além disso, o grau de esterificação possui efeito positivo na estabilidade da astaxantina. A forma esterificada, monoéster ou diéster, agrega a este carotenoide significativa estabilidade térmica, em comparação à forma livre (12).

Além das atividades antioxidantes, a astaxantina também exerce inúmeras outras atividades biológicas como mostra a tabela 1.

Atividades Biológicas	Referências
Atividade antioxidante	(13)
Proteção contra os raios UV	(14)
Anti-câncer de pele	(14)
Anti-inflamatório	(15)
Atividade anti-gástrica	(16)
Anti-hepatoprotetor	(17)

DESAFIOS PARA APLICAÇÃO INDUSTRIAL DE ASTAXANTINA E ESTRATÉGIAS

Devido às inúmeras propriedades biológicas, a astaxantina tem cada vez mais um grande interesse da comunidade científica e indústrias de alimentos e/ou farmacêuticas. Para exercer suas bioatividades, a *European Food Safety Authority* sugere que a ingestão de astaxantina na dose de 8 mg/dia é segura para adultos (19). Além disso, com base em seu potente antioxidante, a astaxantina pode ser um potencial suplemento terapêutico contra o COVID-19 (20).

Apesar do grande interesse e muitas as vantagens da utilização de astaxantina pelas indústrias de alimentos e/ou farmacêuticas, existem limitações envolvidas em sua utilização como baixa biodisponibilidade e sensibilidade a fatores ambientais e de processamento (4, 5). Uma das principais estratégias utilizadas para isso é o encapsulamento que consiste em criar uma barreira sobre o componente ativo, protegendo-o contra os efeitos de fatores ambientais e permitindo a solubilização do composto em meio aquoso (hidrofobicidade da astaxantina) (12). Além disso, promove a liberação controlada da molécula sob determinadas condições, aumentando sua biodisponibilidade.

A seguir serão descritas duas formas que podem ser utilizadas para encapsular astaxantina: lipossomas e secagem por pulverização.

Lipossomas

Os lipossomas são partículas esféricas formadas por duas ou múltiplas camadas compostas por fosfolípidios, moléculas que possuem uma região de maior hidrofobicidade, comumente chamada de “cauda apolar” e uma região de maior hidrofiliabilidade, normalmente conhecida como “cabeça polar” (Figura 5) (21).

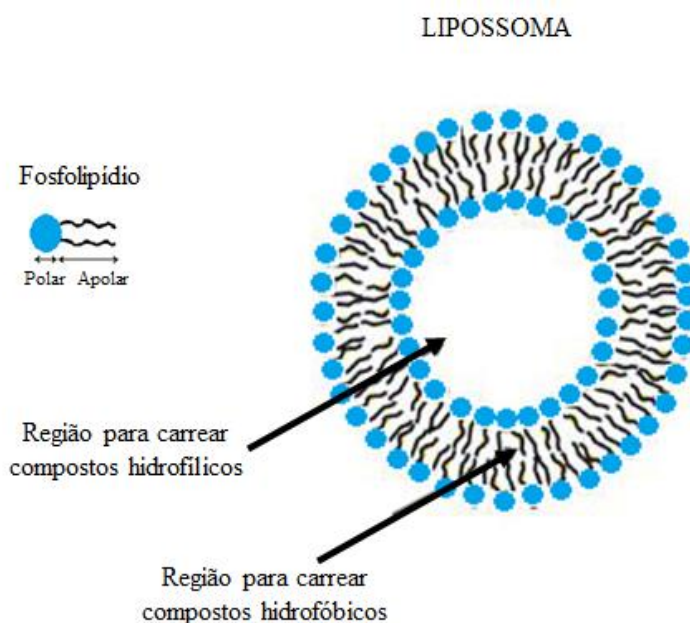


Figura 5 – Fosfolipídio e lipossoma.

Os lipossomas podem ser usados não apenas para encapsular compostos bioativos polares dentro do núcleo interno, mas também compostos bioativos apolares no domínio apolar formado pelos fosfolipídios (22, 23). Portanto, os sistemas de entrega de lipossomas são veículos potenciais para axtaxantina. Devido a sua hidrofobicidade, a astaxantina se encaixa na região hidrofóbica dos fosfolipídios.

O encapsulamento por lipossomas apresenta alguns desafios como a dificuldade de produção em grande escala e economicamente viável, baixa estabilidade nas condições encontradas durante o processamento e armazenamento de alimentos e uma baixa eficiência de encapsulação para ingredientes hidrofílicos (24). Apesar disso é muito utilizado no encapsulamento de diferentes compostos como a astaxantina. Peng et al. (25) prepararam astaxantina encapsulada em lipossomas. De acordo com os resultados, o sistema de encapsulamento por lipossomas aumentou a biodisponibilidade das astaxantina bem como melhorou sua estabilidade em relação a astaxantina livre. Além disso, a astaxantina encapsulada em lipossomas ativou com mais eficácia enzimas antioxidantes como superóxido dismutase, catalase e glutathione S-transferase do que a astaxantina livre. Os autores concluíram, portanto, que os a baixa biodisponibilidade da astaxantina pode ser melhorada pelo encapsulamento lipossomal, que pode ser um bom remédio adjuvante na radioterapia gama.

Secagem por pulverização (“spray drying”)

A secagem por pulverização tem sido relatada como uma técnica adequada para microencapsulação de ingredientes na indústria de alimentos, incluindo aromatizantes, corantes, antioxidantes, óleos essenciais, etc. Esta técnica consiste em um processo de secagem contínuo e rápido, baseado em três etapas (26).

- Etapa 1: preparação das dispersões individuais do material de parede e do núcleo (material a ser encapsulado, neste caso, o composto bioativo).
- Etapa 2: corresponde à mistura do material de parede e do núcleo para produzir uma emulsão ou uma dispersão (geralmente usando-se homogeneização).
- Etapa 3: envolve a atomização da dispersão ou emulsão, em que as gotículas atomizadas entram em contato com ar quente, promovendo a formação de micropartículas esféricas com tamanhos que variam entre 10 μm e 3 mm . Essas micropartículas são coletadas em um ciclone, e o ar deixa o sistema com uma temperatura mais baixa e uma umidade mais alta.

Um esquema do processo de encapsulamento de um composto bioativo é apresentado na Figura 6.

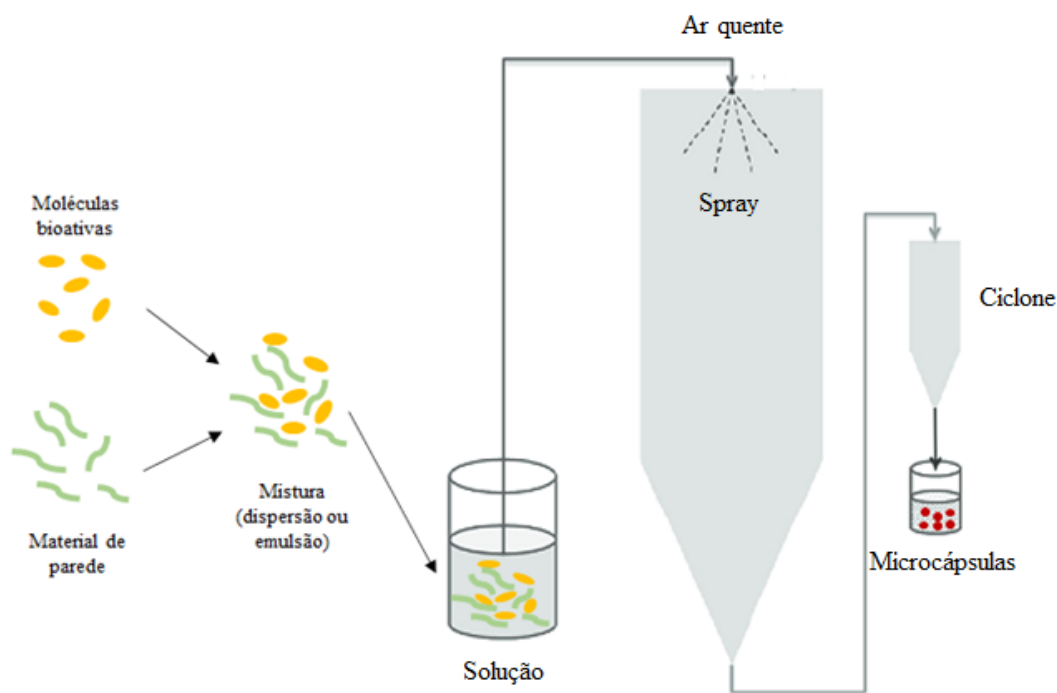


Figura 6 - Representação esquemática do processo de encapsulamento por “spray drying”.

A secagem por pulverização é uma tecnologia relativamente bem estabelecida com bons equipamentos prontamente disponíveis para produzir pós de alta qualidade em produção em larga escala, que são adequados para produzir ingredientes funcionais para a indústria de alimentos, uma vez que o custo é frequentemente uma consideração importante (27). Shen et al. (28) investigaram o encapsulamento da astaxantina usando o método de secagem por pulverização utilizando misturas de proteína de leite (isolado de proteína de soro de leite ou caseinato de sódio) e carboidratos (fibra de milho solúvel) como materiais de parede. Os resultados demonstraram que a secagem por pulverização pode ser aplicada para transformar as emulsões estáveis de astaxantina em pós com propriedades razoavelmente boas, incluindo atividade de água, morfologia de superfície e estabilidade oxidativa. As emulsões reconstituídas também apresentaram boa estabilidade semelhante às emulsões originais. A eficiência de microencapsulação foi alta (~95%) para ambos os sistemas de parede sob investigação, indicando a adequação dessas matrizes de parede para encapsular a astaxantina hidrofóbica.

CONCLUSÃO

A astaxantina é um carotenóide que tem recebido grande atenção devido à sua forte atividade funcional na indústria de alimentos. No entanto, a baixa solubilidade em água e a instabilidade química restringem sua biodisponibilidade e aplicação de antioxidantes. Esta revisão ressaltou que o encapsulamento da astaxantina bem projetados podem aumentar a estabilidade da astaxantina durante o processamento de alimentos e a digestão *in vivo*. Melhorar ainda mais sua biodisponibilidade por meio da entrega direcionada de produtos à base de astaxantina, especialmente para populações especiais, atenderá às múltiplas necessidades do público em nutrição e saúde alimentar. Todavia, apesar dos avanços já alcançados, ainda há muito a ser pesquisado e desenvolvido sobre

novos materiais encapsulantes de maior eficiência. Além disso, notavelmente, é importante o foco direcionado para testes *in vivo* e clínicos para estudar a entrega direcionada deste composto bioativo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições que contribuíram diretamente para a execução desse trabalho, como a Universidade Federal de Viçosa (UFV), Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG-ILCT).

REFERÊNCIAS

1. Gao Y, Liu F, Li RW, Li C, Xue C, Tang Q. Microbial composition and co-occurrence patterns in the gut microbial community of normal and obese mice in response to astaxanthin. *Frontiers in Microbiology*, 2021;12:1-10.
2. Wang W, Liu M, Fawzy S, Xue Y, Wu M, Huang X, Lin Q. Effects of dietary phaffia rhodozyma astaxanthin on growth performance, carotenoid analysis, biochemical and immune-physiological parameters, intestinal microbiota, and disease resistance in penaeus monodon. *Frontiers in Microbiology*, 2021;12:1-14.
3. Wang M, Ma H, Guan S, Luo T, Zhao C, Cai G, Cui H. Astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* alleviates obesity by modulating lipid metabolism and gut microbiota in mice fed a high-fat diet. *Food & Function*, 2021;12:20:9719-9738.
4. Han SI, Chang SH, Lee C, Jeon MS, Heo YM, Kim S, Choi YE. Astaxanthin biosynthesis promotion with pH shock in the green microalga, *Haematococcus lacustris*. *Bioresour. Technol.*, 2020;314:123725.
5. Zhao T, Yan Y, Sun L, Yang T, Hu X, He Z, Liu F, Liu X. Research progress on extraction, biological activities and delivery systems of natural astaxanthin. *Tren. In Food Sci. Technol.*, 2019;91:354-361.
6. Zhao X, Zhang X, Liu H, Zhu H, Zhu Y. Enzyme-assisted extraction of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* and its stability and antioxidant activity. *Food Sci. Biotechnol.*, 2019;28:6:1637-1647.
7. Capelli B, Bagchi D, Cysewski GR. Synthetic astaxanthin is significantly inferior to algal-based astaxanthin as an antioxidant and may not be suitable as a human nutraceutical supplement. *Nutrafoods*, 2013;124:145-152.
8. Park JH, Yeo IJ, Han JH, Suh JW, Lee HP, Hong JT. Anti-inflammatory effect of astaxanthin in phthalic anhydride-induced atopic dermatitis animal model. *Experimental Dermatology*, 2018;27:4:378-385.
9. Hussein G, Goto H, Oda S, Iguchi T, Sankawa U, Matsumoto K, Watanabe H. Antihypertensive potential and mechanism of action of astaxanthin: II. Vascular reactivity and hemorheology in spontaneously hypertensive rats. *Biological & Pharmaceutical Bulletin*, 2005;28:6:967-971.

10. Ambati RR, Phang SM, Ravi S, Aswathanarayana RG. Astaxanthin: Sources, extraction, stability, biological activities and its commercial applications-a review. *Marine Drugs*, 2014;12:1:128-152.
11. Yang C, Hassan YI, Liu R, Zhang H, Chen Y, Zhang L, Tsao R. Anti-Inflammatory Effects of different astaxanthin isomers and the roles of lipid transporters in the cellular transport of astaxanthin isomers in Caco-2 Cell Monolayers. *Journal of Agricultural & Food Chemistry*, 2019;67:22:6222-6231.
12. Patil AD, Kasabe PJ, Dandge PB. Pharmaceutical and nutraceutical potential of natural bioactive pigment: Astaxanthin. *Natural Products and Bioprospecting*, 2022;12:1:25.
13. Ranga R A, Baskaran V, Sarada R, Ravishankar GA. *In vivo* bioavailability and antioxidant activity of carotenoids from micro algal biomass—A repeated dose study. *Food Res. Int.* 2013;54:711–717.
14. Ranga R A., Sindhuja HN, Dharmesh SM, Sankar KU, Sarada R, Ravishankar GA. Effective inhibition of skin cancer, tyrosinase, and antioxidative properties by astaxanthin and astaxanthin esters from the green alga *Haematococcus pluvialis*. *J. Agric. Food Chem.* 2013;61:3842–3851.
15. Chew W, Mathison BD, Kimble LL, Mixer PF, Chew BP. Astaxanthin decreases inflammatory biomarkers associated with cardiovascular disease in human umbilical vein endothelial cells. *Am. J. Adv. Food Sci. Technol.* 2013;1:1–17.
16. Kamath BS, Srikanta B.M, Dharmesh SM, Sarada R, Ravishankar GA. Ulcer preventive and antioxidative properties of astaxanthin from *Haematococcus pluvialis*. *Eur. J. Pharmacol.* 2008;590:387–395.
17. Turkez H, Geyikoglu F, Yousef MI. Beneficial effect of astaxanthin on 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-*p*-dioxin-induced liver injury in rats. *Toxicol. Ind. Health.* 2012;29:591–599.
18. Chan KC, Pen PJ, Yin MC. Anti-coagulatory and anti-inflammatory effects of astaxanthin in diabetic rats. *J. Food Sci.* 2012;77:H76–H80.
19. Cao Y, Yang L, Qiao X, Xue C, Xu J. Dietary astaxanthin: An excellent carotenoid with multiple health benefits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2021;1-27.
20. Talukdar J, Bhadra B, Dattaroy D, Nagle V, Dasgupta S. Potential of natural astaxanthin in alleviating the risk of cytokine storm in COVID-19. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 2020;132:110886
21. Nsairat H, Khater D, Sayed U, Odeh F, Al Bawab A, Alshaer W. Liposomes: structure, composition, types, and clinical applications. *Heliyon.* 2022;1;8:5:e09394.
22. Esposito BS, Jauregi P, Tapia-Blácido DR, Martelli-Tosi M. Liposomes vs. chitosomes: Encapsulating food bioactives. *Trends in Food Science & Technology*, 2021;108:40-48
23. Muñoz-Shugulí C, Vidal CP, Cantero-López P, Lopez-Polo J. Encapsulation of plant extract compounds using cyclodextrin inclusion complexes, liposomes,

- electrospinning and their combinations for food purposes. *Trends in Food Science & Technology*, 2021;108:177-186.
24. McClements DJ. Encapsulation, protection, and release of hydrophilic active components: Potential and limitations of colloidal delivery systems. *Adv Colloid Interface Sci.* 2015;219:27–53.
 25. Peng CH, Chang CH, Peng RY, Chyau CC. Improved membrane transport of astaxanthine by liposomal encapsulation. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 2010;75:154-161.
 26. Rezvankhah A, Emam-Djomeh Z, Askari G. Encapsulation and delivery of bioactive compounds using spray and freeze-drying techniques: A review. *Dry Technol.* 2020;2:38(1–2):235–58.
 27. Pongsamart K, Limwikrant W, Ruktanonchai UR, Charoenthai N, Puttipatkhachorn S. Preparation, characterization and antimalarial activity of dihydroartemisinin / β -cyclodextrin spray-dried powder. *J Drug Deliv Sci Technol.* 2022;1;73:103434.
 28. Shen Q, Quek SY. Microencapsulation of astaxanthin with blends of milk protein and fiber by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 2014;123:165-171.

Capítulo 19

Doi.org/10.53934/9786599965814-19

AÇÃO ANTIBACTERIANA DE ÓLEOS ESSENCIAIS ISOLADOS E COMBINADOS SOBRE *Listeria monocytogenes*

Bruna Azevedo Balduino *; Anderson Henrique Venâncio ; Michelle Carlota Gonçalves ; Mônica Aparecida da Silva ; Mateus Santos Carapiá ; Roberta Hilsdorf Piccoli 

*Autor correspondente (Corresponding author)-Email: brunaazevedo.94@hotmail.com

Resumo: *Listeria monocytogenes* é um patógeno alimentar capaz de se desenvolver em superfícies de processamento de alimentos, formar biofilmes e causar listeriose, devido à ingestão de alimentos contaminados. A utilização de óleos essenciais (OEs) como conservantes naturais é uma alternativa promissora para o fornecimento de alimentos seguros ao consumidor. Desse modo, o objetivo do estudo foi avaliar a ação antibacteriana isolada e combinada dos OEs de tomilho (TO), coentro (CO), orégano (O) e cravo botão (CB) sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117. Para tanto, a concentração mínima bactericida (CMB) dos OEs foi determinada pela técnica de microdiluição em caldo em microplacas de poliestireno com 96 cavidades avaliando-se concentrações dos OEs entre 2 e 0,015% (v/v). Posteriormente, realizou-se o plaqueamento por microgotas, seguido de incubação das placas e a menor concentração do OE em que não houve crescimento do microrganismo em placa foi denominada CMB. Baseando-se nos valores da CMB e utilizando-se do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR), foram gerados 27 ensaios com a mistura dos OEs para avaliação da atividade antibacteriana *in vitro*. Encontrou-se uma CMB de 1,0% para os OEs de TO, O e CO e de 0,5% para o OE de CB indicando que todos os OEs apresentaram ação bactericida. Com relação as combinações, apenas 3 dos 27 ensaios não foram capazes de inibir o crescimento da cepa utilizada, o que demonstra que a ação combinada entre diferentes concentrações dos OEs foi eficaz para inibir o crescimento microbiano, comprovando que houve boa interação entre os óleos capaz de potencializar sua atividade antimicrobiana.

Palavras-chave: antimicrobianos naturais; *Listeria monocytogenes*; segurança do alimento

Abstract: *Listeria monocytogenes* is a foodborne pathogen capable of growing on food processing surfaces, forming biofilms and causing listeriosis due to ingestion of contaminated food. The use of essential oils (EOs) as natural preservatives is a promising alternative for providing safe foods to consumers. Thus, the aim of the study was to evaluate the isolated and combined antibacterial action of thyme (TO), coriander (CO), oregano (O) and clove (CB) EOs on *L. monocytogenes* ATCC 19117. For this purpose, the minimum bactericidal concentration (MBC) of the EOs was determined by the broth microdilution technique in polystyrene microplates with 96 wells, evaluating concentrations of the EOs between 2 and 0,015% (v/v). Subsequently, microdroplet plating was performed, followed by incubation of the plates and the lowest concentration of EO in which there was no growth of the microorganism in the plaque was called MBC. Based on the MBC values and using the Rotational Central Composite Design (RCCD), 27 assays were generated with the

mixture of EOs to evaluate the *in vitro* antibacterial activity. A MBC of 1.0% was found for the EOs of TO, O and CO and of 0.5% for the EO of CB, indicating that all the EOs showed bactericidal action. Regarding the combinations, only 3 of the 27 assays were not able to inhibit the growth of the strain used, which demonstrates that the combined action between different concentrations of EOs was effective in inhibiting microbial growth proving that there was a good interaction between the oils capable of enhancing their antimicrobial activity.

Key Word: natural antimicrobials; *Listeria monocytogenes*; food safety

INTRODUÇÃO

Listeria monocytogenes é uma bactéria Gram-positiva, anaeróbia facultativa, em formato de bastonete, não formadora de esporos e que possui a capacidade de sobreviver em condições adversas. Devido sua capacidade de se desenvolver em altas concentrações de sal, ampla faixa de pH e temperatura, tolerar baixa atividade de água e habilidade de se fixar em superfícies de processamento de alimentos formando biofilmes em diferentes locais de uma instalação de processamento, *L. monocytogenes* é considerada um patógeno de origem alimentar de grande preocupação para a indústria alimentícia (1; 2; 3; 4; 5; 6).

A principal forma de contaminação por *L. monocytogenes* ocorre por meio da ingestão de alimentos contaminados, como carnes, produtos cárneos, peixes, frutos do mar, leite cru, produtos lácteos, ovos, frutas e vegetais. Já que, uma vez ingerido, esse patógeno pode causar listeriose, uma doença de origem alimentar que apresenta altas taxas de letalidade (3; 7).

A listeriose acomete principalmente indivíduos mais susceptíveis como idosos, mulheres grávidas, recém nascidos e indivíduos imunocomprometidos e pode ocorrer de duas formas. A listeriose não invasiva é a forma mais branda da doença, que normalmente ocorre como uma gastroenterite febril e a listeriose invasiva se caracteriza como a forma mais severa da doença, que ocorre como uma infecção sistêmica e está relacionada a altas taxas de hospitalização e letalidade (8; 9; 10; 11).

Desse modo, a indústria utiliza os conservantes como uma forma de evitar a contaminação por patógenos e o desenvolvimento de microrganismos deterioradores para garantir aos consumidores um alimento seguro e com maior vida útil. Esses conservantes podem ser sintéticos ou naturais, sendo os sintéticos ainda muito utilizados (12).

No entanto, devido a uma busca cada vez maior dos consumidores por segurança e saudabilidade, há um maior interesse em substituir os conservantes sintéticos por alternativas naturais, dentre as quais se destacam os óleos essenciais (12; 13; 14; 15; 16).

Os óleos essenciais são misturas complexas, compostas por substâncias voláteis e odoríferas, provenientes do metabolismo secundário de plantas (17;18). Sendo muito conhecidos por apresentarem propriedades antibacterianas, antifúngicas, antiparasitárias, antivirais e antioxidantes (19). Desse modo, esses compostos naturais aromáticos, não tóxicos e biologicamente ativos possuem grande aplicação industrial, seja no setor de alimentos, cosméticos, medicamentos, entre outros (15).

Os óleos essenciais são classificados como GRAS (Generally Recognized As Safe) pela Food and Drug Administration (FDA), o que permite sua utilização em alimentos e os tornam uma alternativa promissora para a substituição dos conservantes sintéticos na indústria de alimentos (20).

Embora sejam muito utilizados na indústria como aromatizantes, são considerados antimicrobianos naturais com potencial para combater patógenos alimentares e microrganismos deterioradores e, portanto, podem ser considerados como um conservante de alimentos eficaz (15; 16).

Entretanto, um fator limitante para o uso de óleos essenciais como conservantes naturais em alimento são seu forte sabor e odor, pois, dependendo da concentração em que o óleo é utilizado pode causar alterações sensoriais no produto que muitas vezes não são desejáveis. Portanto, uma forma de minimizar essa interferência sensorial é a utilização de combinações entre diferentes óleos essenciais. Já que, quando utilizados de forma combinada pode ocorrer efeitos sinérgicos entre seus componentes, o que contribui para um aumento da atividade antimicrobiana e, conseqüentemente, possibilita a utilização de concentrações mais baixas (10; 15; 16; 20; 21; 22).

Diante do exposto, o objetivo do estudo foi avaliar a ação antibacteriana isolada e combinada dos óleos essenciais de tomilho, coentro, orégano e cravo botão sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e condução do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Microbiologia de Alimentos no Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na cidade de Lavras-MG, Brasil.

Óleos essenciais

Os óleos essenciais de tomilho, coentro, orégano e cravo botão foram adquiridos da empresa Ferquima®.

Microrganismo, manutenção e padronização do inóculo

A cepa bacteriana utilizada no estudo foi *Listeria monocytogenes* ATCC 19117, cedida pelo Instituto Nacional de Controle de Qualidade em Saúde (INCQS) da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) e mantida no Laboratório de Microbiologia de Alimentos do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA.

A cepa de *L. monocytogenes* foi ativada em caldo triptona de soja acrescido de 0,6% (m/v) de extrato de levedura (TSB-YE), seguida de incubação a 37°C por 24h. A cultura estoque foi obtida por transferências de alíquotas de 1 mL da cultura ativa para microtubos que foram centrifugados a 7700 xg por 5 minutos. Após a centrifugação o sobrenadante foi descartado e a massa celular obtida foi ressuspensa com adição e homogeneização de 1 mL de meio de congelamento (glicerol: 15 ml; peptona bacteriológica: 0,5g; extrato de levedura: 0,3g; NaCl: 0,5g; água destilada: 100 ml). A cultura estoque foi mantida a -18°C durante o período de execução do experimento.

A padronização do inóculo a 10⁸ UFC/mL foi realizada mediante curva de crescimento, na qual o desenvolvimento do microrganismo foi monitorado por leituras periódicas da absorbância (D.O. 600 nm) em espectrofotômetro (BEL SP-2000) e plaqueamento de alíquotas da cultura em ágar triptona de soja acrescido de 0,6% de extrato

de levedura (TSA-YE). As placas foram incubadas a 37°C por 24h para posterior quantificação das colônias e padronização das culturas.

Os inóculos foram obtidos pela transferência de alíquotas de 1 mL da cultura estoque para tubos de ensaio contendo 10 mL de TSB-YE e incubação a 37°C por 24h. Após esse período, alíquotas de 1 mL das culturas foram transferidas para frascos contendo 100 ml de TSB-YE e incubadas a 37°C pelo tempo necessário para atingir 10⁸ UFC/mL.

Determinação da Concentração Mínima Bactericida (CMB)

A concentração mínima bactericida (CMB) dos óleos essenciais foi determinada pela técnica de microdiluição em caldo (23), com adaptações, em microplacas de poliestireno com 96 cavidades. Os óleos essenciais foram utilizados nas concentrações de 2; 1; 0,5; 0,25; 0,12; 0,06; 0,03; 0,015% (v/v).

Alíquotas de 10 µL da cultura padronizada foram inoculadas nas cavidades das microplacas contendo 150 µL de TSB-YE acrescido de Tween 80 e das concentrações dos óleos essenciais. As microplacas foram incubadas a 37°C por 24h. Após esse período, alíquotas de 10 µL das culturas de cada cavidade foram plaqueadas em TSA-YE empregando-se a técnica de plaqueamento em microgotas e incubadas a 37°C por 24 horas. A menor concentração do óleo em que não houve crescimento do microrganismo em placa foi denominada CMB. O experimento foi realizado com três repetições em triplicata. Foram utilizados um controle negativo contendo TSB-YE acrescido de 0,5% de Tween 80 e das concentrações dos óleos essenciais e um controle positivo, contendo TSB-YE acrescido de Tween 80 e 10 µL da cultura padronizada.

Combinação entre os óleos essenciais

A partir da concentração mínima bactericida dos óleos essenciais testados *in vitro*, foram gerados vinte e sete ensaios utilizando-se o delineamento DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional) no programa Chemoface versão 1.5, utilizando “Experimental design”, sendo as variáveis codificadas “+2” e “-2” calculadas de acordo com a CMB encontrada para cada óleo. É possível observar as variáveis codificadas representando as diferentes proporções dos óleos essenciais utilizados em cada ensaio na Tabela 1.

Tabela 1 – Variáveis codificadas representando as proporções utilizadas nos ensaios das combinações dos óleos essenciais de orégano, coentro, tomilho e cravo botão.

Ensaio	Variáveis codificadas			
	Orégano	Coentro	Tomilho	Cravo botão
1	-1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1	1
3	-1	-1	1	-1
4	-1	-1	1	1
5	-1	1	-1	-1
6	-1	1	-1	1
7	-1	1	1	-1
8	-1	1	1	1
9	1	-1	-1	-1
10	1	-1	-1	1
11	1	-1	1	-1
12	1	-1	1	1
13	1	1	-1	-1
14	1	1	-1	1
15	1	1	1	-1
16	1	1	1	1
17	-2	0	0	0
18	2	0	0	0
19	0	-2	0	0
20	0	2	0	0
21	0	0	-2	0
22	0	0	2	0
23	0	0	0	-2
24	0	0	0	2
25	0	0	0	0
26	0	0	0	0
27	0	0	0	0

A avaliação da atividade antimicrobiana *in vitro* dos vinte e sete ensaios foi realizada em tubos de ensaio. Para tanto, alíquotas de 50 µL de cultura de *L. monocytogenes* padronizada em 10⁸ UFC/mL foram transferidas para tubos contendo 5mL de caldo TSB-YE acrescido de 0,5% de Tween 80 e das diferentes combinações entre os óleos essenciais, seguido de homogeneização dos tubos em agitador tipo Vortex e incubação a 37°C por 24h. Após incubação, alíquotas de 10 µL foram transferidas para placas de Petri contendo TSA-YE, para realização do plaqueamento pela técnica de microgotas. As placas foram incubadas a 37°C por 24h e, após esse período, foi observado quais ensaios foram capazes de inibir o crescimento da bactéria. O experimento foi realizado com três repetições em triplicata.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações mínimas bactericidas encontradas para os óleos essenciais testados sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117 podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Concentrações mínimas bactericidas (CMB) de diferentes óleos essenciais sobre *L. monocytogenes*

Óleos essenciais	CMB (%)
Tomilho	1,0

Coentro	1,0
Orégano	1,0
Cravo botão	0,5

Todos os óleos essenciais apresentaram atividade bactericida quando testados *in vitro* sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117. Sendo o óleo essencial de cravo botão o que apresentou a menor CMB e, portanto, o que obteve a melhor ação antibacteriana.

A ação antimicrobiana dos óleos essenciais está relacionada a seus compostos bioativos como aldeídos, flavonoides, ácidos fenólicos e terpenos. Desse modo, alguns de seus componentes majoritários como timol, carvacrol, eugenol, cinamaldeído, limoneno, carvona, α - e β -pineno e p -cimeno são exemplos de compostos com atividade antilisterial (12).

Devido ao grande número de componentes químicos dos óleos essenciais, sua atividade antimicrobiana não está relacionada a um único mecanismo de ação e sim a várias alterações que ocorrem em toda a célula microbiana, como alteração do perfil de ácidos graxos e da estrutura da membrana celular, aumento da permeabilidade, extravasamento do conteúdo celular, danos às proteínas de membrana, coagulação do citoplasma, inibição da funcionalidade da parede celular e depleção da força próton motriz (12; 24). Já que, os componentes hidrofóbicos dos óleos essenciais interagem com os lipídeos presentes na membrana celular do microrganismo, o que resulta nos danos metabólicos e morte celular (20).

Além disso, a eficiência dos óleos essenciais pode ser afetada por diversos fatores como método de extração do óleo, identificação e quantificação dos constituintes químicos, microrganismo alvo e interação com a matriz alimentar (20).

Pensando-se na aplicação em alimentos como conservante natural, é preciso considerar que devido as possíveis interferências da matriz alimentar na ação antimicrobiana dos óleos essenciais, pode ser necessário utilizar maiores concentrações para se ter a mesma ação antimicrobiana dos sistemas *in vitro*.

Desse modo, alternativas como a combinação entre diferentes óleos para reduzir as alterações sensoriais são necessárias. A ação bactericida das combinações entre os óleos essenciais testadas *in vitro* sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117 pode ser observada na Tabela 3.

Tabela 3 – Atividade bactericida das combinações entre os óleos essenciais sobre *L. monocytogenes*

Ensaio	Óleos essenciais				Crescimento
	Orégano	Coentro	Tomilho	Cravo botão	
1	0,04	0,04	0,04	0,009	+
2	0,04	0,04	0,04	0,03	+
3	0,04	0,04	0,13	0,009	-
4	0,04	0,04	0,13	0,03	-
5	0,04	0,13	0,04	0,009	-
6	0,04	0,13	0,04	0,03	-
7	0,04	0,13	0,13	0,009	-
8	0,04	0,13	0,13	0,03	-
9	0,13	0,04	0,04	0,009	-
10	0,13	0,04	0,04	0,03	-
11	0,13	0,04	0,13	0,009	-
12	0,13	0,04	0,13	0,03	-
13	0,13	0,13	0,04	0,009	-

14	0,13	0,13	0,04	0,03	-
15	0,13	0,13	0,13	0,009	-
16	0,13	0,13	0,13	0,03	-
17	0	0,085	0,085	0,019	+
18	0,175	0,085	0,085	0,019	-
19	0,085	0	0,085	0,019	-
20	0,085	0,175	0,085	0,019	-
21	0,085	0,085	0	0,019	-
22	0,085	0,085	0,175	0,019	-
23	0,085	0,085	0,085	0	-
24	0,085	0,085	0,085	0,041	-
25	0,085	0,085	0,085	0,019	-
26	0,085	0,085	0,085	0,019	-
27	0,085	0,085	0,085	0,019	-

Apenas os ensaios 1 (0,04% orégano + 0,04% coentro + 0,04% tomilho + 0,009% cravo botão), 2 (0,04% orégano + 0,04% coentro + 0,04% tomilho + 0,03% cravo botão) e 17 (0,085% coentro + 0,085% tomilho + 0,019% cravo botão) não foram capazes de inibir o crescimento de *L. monocytogenes* ATCC 19117 *in vitro*. É possível perceber que os ensaios 1 e 2 correspondem às menores concentrações totais das combinações entre os óleos essenciais, já no ensaio 17, não foi utilizado o óleo essencial de orégano, o que demonstra a importância desse óleo para inibição de *L. monocytogenes*.

Com relação aos demais ensaios, pode-se dizer que houve uma boa interação entre os óleos essenciais, pois a combinação entre diferentes concentrações dos óleos, inferiores aos valores da CMB, foram capazes de inibir o crescimento microbiano. Desse modo, o uso de concentrações mais baixas para obter uma atividade antibacteriana semelhante poderá resultar em uma alteração sensorial reduzida ao ser aplicado em um produto alimentício (25).

Ao trabalhar com combinações entre óleos essenciais é preciso considerar que pode ocorrer um efeito sinérgico, aditivo ou antagônico. Quando a atividade antimicrobiana da combinação é igual à soma dos efeitos individuais tem-se um efeito aditivo, quando a atividade antimicrobiana das substâncias combinadas é maior que a soma dos efeitos individuais tem-se o sinergismo e quando a atividade antimicrobiana de um ou ambos compostos é significativamente maior do que a de suas misturas tem-se o antagonismo (26).

Pensando-se nos efeitos sinérgicos e aditivos, o uso de combinações são uma alternativa promissora para aumentar a eficácia dos óleos essenciais aplicados em alimentos. Efeitos sinérgicos podem ocorrer na combinação entre diferentes óleos essenciais, como também na combinação de óleos essenciais e aditivos alimentares e entre óleos essenciais e antibióticos (25; 27).

Assim como neste trabalho, alguns estudos tem relatado a inibição de *L. monocytogenes* por óleos essenciais de forma isolada ou combinada. As atividades antibacterianas dos óleos essenciais de orégano (*Origanum vulgare* L.) e alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) foram avaliadas de forma isolada e combinada sobre *L. monocytogenes* ATCC 7644 e observou-se que a adição de 1,25 µL/mL do óleo essencial de orégano, 20 µL/mL do óleo essencial de alecrim e a combinação entre os dois óleos (0,3125 µL/mL de orégano + 5 µL/mL de alecrim) reduziram a população bacteriana a valores inferiores a dois ciclos log após 4h, 24h e 12h de exposição, respectivamente (28).

Combinações binárias e ternárias dos óleos essenciais de canela, manuka e segurelha foram testadas sobre *L. monocytogenes* ATCC 7644 demonstrando vários efeitos sinérgicos que sugerem o potencial para utilizar baixas concentrações de óleos essenciais que podem

ser úteis em plantas de processamento de alimentos (29). Efeitos sinérgicos sobre *L. monocytogenes* também foram demonstrados pela combinação de diferentes proporções de óleos essenciais de mostarda e orégano mexicano demonstrando eficácia antimicrobiana contra o microrganismo quando testado *in vitro* (30).

Portanto, os óleos essenciais testados neste estudo apresentaram atividade bactericida sobre *L. monocytogenes* e, embora tenham sido eficazes quando utilizados de forma isolada, as combinações permitem a utilização de menores concentrações, podendo reduzir custos e os impactos sensoriais, sem que se perca seu efeito antimicrobiano, garantindo segurança (30).

CONCLUSÕES

Os óleos essenciais de orégano, coentro, tomilho e cravo botão apresentaram ação bactericida sobre *L. monocytogenes* ATCC 19117 quando usados de forma isolada e combinada. Sendo que, 24 dos 27 ensaios com diferentes combinações entre os óleos essenciais foram eficazes para inibir o crescimento do microrganismo. O que demonstra que a combinação entre os óleos é uma alternativa promissora para que eles possam ser utilizados em alimentos como conservantes naturais, já que permitem a utilização de menores concentrações dos óleos essenciais com intuito de reduzir a interferência sensorial.

No entanto, para comprovar a eficácia dos óleos essenciais e utilizá-los como conservantes naturais deve-se considerar as alterações que a matriz alimentar pode causar em seu mecanismo de ação, sendo necessário testar sua aplicação em algum produto alimentício, além de realizar mais testes com diferentes cepas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e das agências CAPES, FAPEMIG e CNPq.

REFERÊNCIAS

1. Bhunia AK. Foodborne microbial pathogens: mechanisms and pathogenesis. New York: Springer Science Business; 2008.
2. Colagiorgi A, Bruini I, Di Ciccio PA, Zanardi E, Ghidini S, Ianieri A. *Listeria monocytogenes* biofilms in the wonderland of food industry. Pathogens. 2017;6(3):41.
3. Kawacka I, Olejnik-Schmidt A, Schmidt M, Sip A. Natural plant-derived chemical compounds as *Listeria monocytogenes* inhibitors in vitro and in food model systems. Pathogens. 2021;10(1):12.
4. Kocaman N, Sarimehmetoğlu B. Stress responses of *Listeria monocytogenes*. Ank Üniv Vet Fak Derg. 2016;63(4):421-7.
5. Kocot AM, Olszewska MA. Biofilm formation and microscopic analysis of biofilms formed by *Listeria monocytogenes* in a food processing context. LWT. 2017;84:47-

- 57.
6. Roberts BN, Chakravarty D, Gardner JC, Ricke SC, Donaldson JR. *Listeria monocytogenes* response to anaerobic environments. *Pathogens*. 2020;9(3):210.
 7. Rafieian-Kopaei M, Saki K, Bahmani M, Ghafourian S, Sadeghifard N, Taherikalani M. Listeriosis phytotherapy: A review study on the effectiveness of Iranian medicinal plants in treatment of listeriosis. *J Evid-Based Compl Altern Med*. 2017;22(2):278-83.
 8. Becattini S, Pamer EG. Multifaceted defense against *Listeria monocytogenes* in the gastro-intestinal lumen. *Pathogens*. 2017;7(1):1.
 9. Buchanan RL, Gorris LGM, Hayman MM, Jackson TC, Whitinge RC. A review of *Listeria monocytogenes*: An update on outbreaks, virulence, dose-response, ecology, and risk assessments. *Food Control*. 2017;75:1-13.
 10. Gray JA, Chandry OS, Kaur M, Kocharunchitt C, Bowman JP, Fox EM. Novel biocontrol methods for *Listeria monocytogenes* biofilms in food production facilities. *Front Microbiol*. 2018;9:605.
 11. Rodriguez C, Taminau B, García-Fuentes E, Daube G, Korsakc N. *Listeria monocytogenes* dissemination in farming and primary production: Sources, shedding and control measures. *Food Control*. 2021;120.
 12. Yousefi M, Khorshidian N, Hosseini H. Potential application of essential oils for mitigation of *Listeria monocytogenes* in meat and poultry products. *Front Nutr*. 2020;7.
 13. Calo JR, Crandall PG, O'Bryan CA, Ricke SC. Essential oils as antimicrobials in food systems—A review. *Food Control*. 2015;54:111-9.
 14. Ju J, Xie Y, Guo Y, Cheng Y, Qian H, Yao W. The inhibitory effect of plant essential oils on foodborne pathogenic bacteria in food. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2019;59(20):3281-92.
 15. Li Y-X, Erhunmwunsee F, Liu M, Yang K, Zheng W, Tian J. Antimicrobial mechanisms of spice essential oils and application in food industry. *Food Chem*. 2022;382:132312.
 16. Rao JJ, Chen BC, McClements DJ. Improving the efficacy of essential oils as antimicrobials in foods: mechanisms of action. *Annu Rev Food Sci Technol*. 2019;10(10):365-87.
 17. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils - A review. *Food Chem Toxicol*. 2008;46(2):446-75.
 18. Simões CMDO, Schenkel EP, Mello JCP, Mentz LA, Petrovick PR. *Farmacognosia: da planta ao medicamento*. 6th ed. Porto Alegre: UFSC/UFRGS; 2007.

19. Vergis J, Gokulakrishnan P, Agarwal RK, Kumar A. Essential oils as natural food antimicrobial agents: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2015;55(10):1320-3.
20. Da Silva BD, Bernardes PC, Pinheiro PF, Fantuzzi E, Roberto CD. Chemical composition, extraction sources and action mechanisms of essential oils: Natural preservative and limitations of use in meat products. *Meat Sci.* 2021;176:108463.
21. Gurtler JB, Fan X, Jin T, Niemira BA. Influence of antimicrobial agents on the thermal sensitivity of foodborne pathogens: A review. *J Food Prot.* 2019;82(4):628-44.
22. Jayasena DD, Jo C. Essential oils as potential antimicrobial agents in meat and meat products: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2013;34(2):96-108.
23. CLSI Clinical and Laboratory Standards Institute. Methods for antimicrobial susceptibility of anaerobic bacteria. 9th ed. Wayne: CLSI document M100; 2019.
24. Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods - a review. *Int J Food Microbiol.* 2004;94(3):223-53.
25. Bassolé IHN, Juliani HR. Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules.* 2012;17(4):3989-4006.
26. Cho TJ, Park SM, Yu H, Seo GH, Kim HW, Kim SA, et al. Recent advances in the application of antibacterial complexes using essential oils. *Molecules.* 2020;25(7):1752.
27. Seow YX, Yeo CR, Chung HL, Yuk H-G. Plant essential oils as active antimicrobial agents. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2014;54(5):625-44.
28. De Azeredo GA, De Figueiredo RCBQ, De Souza EL, Stamford TLM. Changes in *Listeria monocytogenes* induced by *Origanum vulgare* L. and *Rosmarinus officinalis* L. essential oils alone and combined at subinhibitory amounts. *J Food Saf.* 2012;32(2):226-35.
29. Fratini F, Mancini S, Turchi B, Sparagni D, Al-Gwad AA, Najjar B, et al. Antimicrobial activity of three essential oils (cinnamon, manuka, and winter savory), and their synergic interaction, against *Listeria monocytogenes*. *Flavour Fragr J.* 2019;34(5):339-48.
30. Reyes-Jurado F, Lopez-Malo A, Palou E. Antimicrobial activity of individual and combined essential oils against foodborne pathogenic bacteria. *J Food Prot.* 2016;79(2):309-15.

Capítulo 20

Doi.org/10.53934/9786599965814-20

EXTRAÇÃO DE CAROTENOIDES PRODUZIDOS POR *Rhodotorula mucilaginosa*: EFEITO DE DIFERENTES PRÉ-TRATAMENTOS NA BIOMASSA

Isabelle Franca da Costa Vasconcelos^{1*} ; Izabela Queiroz Silva¹ ; Pedro Garcia Pereira Silva¹ ; Janaína Fernandes de Medeiros Burkert¹ ; Lucielen Oliveira Santos¹ 

¹ Escola de Química e Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande – FURG

*Autor correspondente (Corresponding author) – E-mail: belle.ifv@outlook.com

Resumo: Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis que podem ser produzidos por via biotecnológica, como é o caso da levedura carotenogênica *Rhodotorula mucilaginosa* CCT 7688. Esses compostos têm importância comercial devido a sua atividade antioxidante e utilização na indústria de alimentos, destacando-se os de fontes naturais. Neste contexto, os carotenoides produzidos pela *R. mucilaginosa* são sintetizados no interior das células, sendo necessário realizar o processo de extração da biomassa. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes pré-tratamentos na biomassa seguido de ruptura celular com dimetilsulfóxido (DMSO), visando maior obtenção de carotenoides e redução no tempo de processo. Para tal, diferentes tratamentos foram realizados modificando o tempo de secagem e congelamento da biomassa (24 ou 48 h) e o ciclo de ruptura com DMSO. O pré-tratamento avaliado que obteve a maior concentração específica (272,81 $\mu\text{g g}^{-1}$) e volumétrica (1762,38 $\mu\text{g L}^{-1}$) de carotenoides foi utilizando secagem e congelamento por 24 h, seguidos de 3 ciclos de ruptura com DMSO, sendo 36,4 % mais eficiente do que a metodologia comumente utilizada na literatura, reduzindo o tempo do processo em 48 h.

Palavras-chave: Cultivo microbiano; biomassa; extrato carotenogênico; pré-tratamento

Abstract: Carotenoids are liposoluble pigments that may be produced by biotechnology, as in the carotenogenic yeast *Rhodotorula mucilaginosa* CCT 7688. These compounds have commercial importance due to their antioxidant activity and use in the food industry, highlighting those from natural sources. In this context, the carotenoids produced by *R. mucilaginosa* are synthesized inside the cells, being necessary to carry out the extraction process. Thus, this study aimed to evaluate different pre-treatments in biomass followed by cell disruption with dimethylsulfoxide (DMSO), to obtain more carotenoids and reduce the processing time. For this purpose, different treatments were performed by modifying the drying and freezing time of the biomass (24 or 48 h) and the DMSO disruption cycle. The pretreatment that obtained the highest specific concentration (272.81 $\mu\text{g g}^{-1}$) and volumetric concentration (1762.38 $\mu\text{g L}^{-1}$) of carotenoids was using drying and freezing for 24 h, followed by 3 cycles of DMSO disruption, being 36,4 % more efficient than the methodology commonly used in the literature, reducing the processing time by 48 h.

Key Word: Microbial culture; biomass; carotenogenic extract; pretreatment

INTRODUÇÃO

Os carotenoides são pigmentos lipossolúveis que possuem ação antioxidante natural, as células utilizam esses compostos como mecanismo de defesa sob estresse oxidativo (1–3). Eles são sintetizados por fungos, algas, plantas e bactérias, e podem ser utilizados em alimentos, como aditivo alimentar e também em medicamentos (2,4). Esses pigmentos apresentam coloração que vai do amarelo ao vermelho, sendo muitas vezes instáveis e sensíveis a luz e ao oxigênio (3,5,6). Portanto, por possuírem coloração, são utilizados como corantes naturais na indústria de alimentos e seu consumo - proveniente de produção natural - demonstra ser mais benéfico a saúde, pois são compostos não sintetizados pelo organismo humano (5,7).

A *Rhodotorula mucilaginosa* CCT 7688, pertencente ao grupo de leveduras oleaginosas, tem potencial de produzir carotenoides a partir de meios agroindustriais (8). Esses compostos são de importância comercial e há crescimento de sua demanda no mercado farmacêutico devido as suas benéficas atividades antioxidantes (1,2). A produção de carotenoides por cultivos microbianos apresenta vantagens, além de ser de origem natural, apresentam rápida taxa de crescimento quando comparada a outras formas de produção natural, possibilidade de cultivar durante todo o ano e produção industrial em áreas reduzidas (6,7,9).

Sabe-se que os custos de produção a partir de cultivos microbianos são altos (10). A fim de diminuir os custos do meio de cultivo, diferentes substratos, tais como alguns coprodutos agroindustriais, podem ser utilizados, como a água de maceração de milho e o melaço de cana (10,11). Esses coprodutos agroindustriais são ricos em nutrientes (carbono, nitrogênio, glicose, entre outros) (10,12,13) e podem ser utilizados como substrato por leveduras produtoras de carotenoides.

Os carotenoides produzidos pela *R. mucilaginosa* são sintetizados no interior das células, assim, é necessário realizar o processo de ruptura celular para fazer a recuperação (5,7,14,15), além disso, ao final desse processo, o bioproduto de interesse precisa ser separado dos demais compostos que estão presentes na solução formada (3,7,14). As técnicas de pré-tratamento, ruptura celular e recuperação são de suma importância para a obtenção do produto.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes pré-tratamentos na biomassa seguido de ruptura celular com dimetilsulfóxido (DMSO), visando maior recuperação de carotenoides e redução no tempo de processo.

MATERIAL E MÉTODOS

Micro-organismo

A levedura *Rhodotorula mucilaginosa* CCT 7688 utilizada foi previamente isolada, identificada e caracterizada por Otero et al. (13) a partir de amostras ambientais da região Sul do Rio Grande do Sul - Brasil, e depositadas na Coleção de Culturas Tropicais André Tosello (Campinas, Brasil).

Manutenção, reativação e cultivo do inóculo da cultura microbiana

A levedura foi mantida em tubos com ágar YM (*Yeast-Malt extract*) inclinado, sendo esse composto por 10 g L⁻¹ de glicose, 5 g L⁻¹ de peptona, 3 g L⁻¹ de extrato de malte, 3 g L⁻¹ de extrato de levedura e 20 g L⁻¹ de ágar bacteriológico. No processo de reativação, os tubos foram incubados a 25 °C por 48 h. Para o preparo do pré-inóculo a biomassa foi ressuspensa

em 1 mL de água peptonada 0,1 % e transferida para tubos com 9 mL de caldo YM, sendo incubados por 48 h a 25 °C. O cultivo do inóculo foi feito em frascos Erlenmeyer (250 mL) contendo 90 mL de caldo YM, sob agitação de 150 rpm, 25 °C e por 48 h (8).

Ensaio para a produção de carotenoides

Os cultivos foram feitos utilizando frascos Erlenmeyer agitados (500 mL), os quais continham 225 mL de meio agroindustrial com 70 g L⁻¹ de melão e 3,4 g L⁻¹ de água de maceração de milho. O pH inicial foi 6,0, 10 % de inóculo (v v⁻¹), 25 °C e 180 rpm em agitador orbital (8). A determinação da concentração (biomassa e carotenoides) e pH foram feitos ao final de 144 h de cultivo.

Determinação da concentração de biomassa e pH

A concentração de biomassa foi determinada pela leitura de transmitância a 620 nm em espectrofotômetro (Quimis, modelo Q998U, Brasil) e utilizando a curva padrão de biomassa (16). Para a determinação do pH, foi utilizado pHmetro de bancada (Kasvi, modelo K39-1420A, Brasil), segundo AOAC (17).

Pré-tratamento da biomassa, extração e determinação da concentração de carotenoides

A biomassa ao final dos cultivos (144 h) foi separada por centrifugação, lavada e ressuspendida em água destilada. Para os testes de extração, a biomassa foi submetida a dois diferentes pré-tratamentos: (a) secagem da biomassa por 24 h em estufa a 35 °C seguida de congelamento em freezer à -18 °C por 24 h; (b) secagem da biomassa por 48 h em estufa a 35 °C seguida de congelamento em freezer à -18 °C por 48 h. A biomassa de ambos os pré-tratamentos foi macerada com gral e pistilo e padronizada o tamanho da partícula utilizando peneira mesh 115 antes de submetidas a operação de congelamento.

Após a realização dos pré-tratamentos na biomassa, foram realizados quatro testes de extração, conforme demonstrado na Figura 1, onde os tratamentos T1 e T3 diferenciam-se de T2 e T4 pelo ciclo de ruptura da célula com DMSO. Sendo os tratamentos T1, T2 e T3 propostos por Silva et. (7) comparados com o tratamento T4 proposto por Rodrigues et al. (8), considerado o método padrão para a extração de carotenoides por leveduras carotenogênicas utilizando DMSO.

Nos tratamentos T1 e T3, em 0,05 g de biomassa acrescentou-se 2 mL de DMSO à 55 °C, homogeneizou-se por 1 min em vórtex (Biomixer QL-901, Ningbo, China) para o rompimento da célula, posteriormente adicionou-se 6 mL de acetona para a recuperação dos carotenoides e o processo foi repetido até o branqueamento das células. Os tratamentos T2 e T4, diferenciaram-se dos demais devido a homogeneização por 1 min em vórtex (Biomixer QL-901, Ningbo, China) com intervalos de 15 min até completar 1 h, posteriormente adicionou-se 6 mL de acetona para a recuperação dos carotenoides e o processo foi repetido até o branqueamento das células.

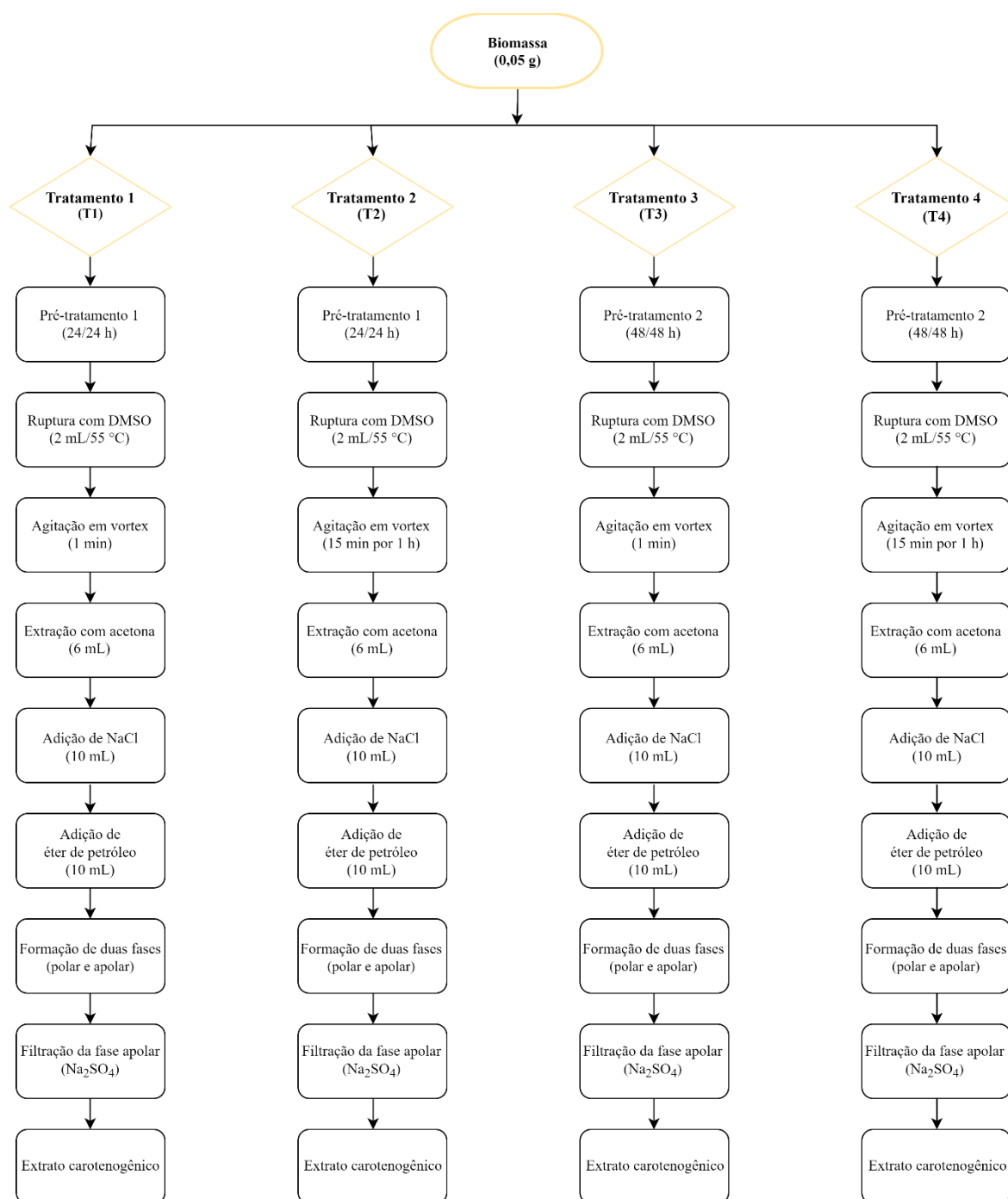


Figura 1 - Tratamentos de ruptura celular com DMSO para diferentes pré-tratamentos da biomassa

Fonte: Adaptado de Silva et al. (7).

Após o processo de extração com os diferentes tratamentos de ruptura química com DMSO, o sobrenadante foi reservado e adicionado 10 mL de solução de NaCl 20 % (m v⁻¹) e 10 mL de éter de petróleo. Após a formação de duas fases com diferentes polaridades, utilizou-se do sulfato de sódio (Na₂SO₄) para filtrar a fase apolar formada, obtendo-se os extratos carotenogênicos (4,8).

Segundo Goodwin (3), o β -caroteno é o carotenoide majoritário da *R. mucilaginosa* e tem absorvidade específica ($A_{1\text{cm}}^{1\%}$) de 2592 em éter de petróleo. Com este dado, a leitura de transmitância em espectrofotômetro (Quimis, modelo Q998U, Brasil) à 450 nm (10,12), determinou-se a concentração específica de carotenoides (CEC), utilizando a Equação 1 (Eq. 1), sendo V o volume em mL, A absorbância e m_{amostra} a biomassa seca em g.. Com os resultados da CEC e concentração de biomassa, foi calculada a concentração volumétrica de carotenoides – CVC ($\mu\text{g L}^{-1}$) (10).

$$\text{CEC} = \frac{A \cdot V \cdot 10^6}{A_{1\text{cm}}^{1\%} \cdot 100 \cdot m_{\text{amostra}}} \quad \text{Eq. 1}$$

Análises estatísticas

Os ensaios de extração de carotenoides foram realizados em triplicatas e os resultados submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo Teste de Tukey com 95 % de confiança.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Baseando-se nas pesquisas feitas por Silva et al. (7) e Rodrigues et al. (8), os tratamentos feitos tinham como objetivo definir o pré-tratamento mais eficiente para fazer a ruptura celular e extração dos carotenoides produzidos pela levedura *Rhodotorula mucilaginosa* CCT 7688. Os dados da Tabela 1 mostram que não houve diferença significativa entre os tratamentos T2 e T4 - os quais foram submetidos a diferentes pré-tratamentos da biomassa (tempo de secagem e congelamento), mas ao mesmo processo de extração, utilizando ciclos de ruptura celular de 15 min até 1 h.

Tabela 1 – Extração de carotenoides com diferentes tratamentos de biomassa

Tratamentos	Concentração específica de carotenoides ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Concentração volumétrica de carotenoides ($\mu\text{g L}^{-1}$)
T1	272,81 \pm 12,05 ^a	1762,38 \pm 77,81 ^a
T2	80,06 \pm 7,06 ^c	517,21 \pm 45,58 ^c
T3	202,25 \pm 16,20 ^b	1306,55 \pm 104,62 ^b
T4	99,42 \pm 7,97 ^c	642,30 \pm 51,48 ^c

Médias com letras sobrescritas diferentes representam diferença significativa entre os tratamentos a um nível de confiança de 95% ($p > 0,05$).

A melhor resposta aos tratamentos aplicados foi encontrada em T1, com CEC de 272,81 $\mu\text{g g}^{-1}$, sendo diferente significativamente dos demais tratamentos ($p < 0,05$) e 36,4 % mais eficiente na extração de carotenoides do que o tratamento T4, metodologia considerada padrão pela literatura.

Michelon et al. (15) avaliaram para a levedura *Phaffia rhodozyma* NRRL Y-17268, a utilização de diferentes técnicas de ruptura celular, dentre elas a utilização de DMSO – o mesmo utilizado por Rodrigues et al. (8) - com a aplicação de congelamento ($-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 48 h). O estudo apontou que o pré-tratamento (congelamento da biomassa) aumentou em 16 % a concentração de carotenoides quando comparado ao controle, o qual foi feita a extração sem a submissão ao processo de ruptura celular.

Os resultados obtidos foram superiores aos encontrados por Rodrigues et al. (8) com a mesma levedura e o mesmo meio agroindustrial utilizando o pré-tratamento de

secagem por 48 h e congelamento por 48h e ruptura com DMSO, sendo a melhor concentração de carotenoides volumétricos de 1248,5 $\mu\text{g L}^{-1}$. Machado et al. (18) cultivaram *R. toruloides* URM 7406 em meio YM para produção de carotenoides e com o mesmo processo de ruptura e pré-tratamento de biomassa descritos acima e atingiu 1333,11 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Fonseca et al. (14) também utilizaram pré-tratamentos e método de ruptura celular com DMSO nas células da levedura *Phaffia rhodozyma* NRRL Y-17268. Sendo constatado que a quantidade de água fora da célula, como também a água livre, tem influência quanto aos processos de ruptura celular e de extração de carotenoides. Assim, o uso dos pré-tratamentos na biomassa da levedura, diminuíram a quantidade de água livre, fazendo com que fosse recuperada maior concentração de carotenoides ($375,7 \pm 10,5 \mu\text{g g}^{-1}$).

Silva et al. (7) avaliaram diferentes pré-tratamentos térmicos da biomassa para a extração de carotenoides produzidos por *Phaffia rhodozyma* NRRL Y-17268: liofilização, secagem e congelamento, além do tempo de ruptura química das células com o uso de DMSO: agitação por 1 min em vórtex e agitação (método 1) e a cada 15 min por 1 h (método 2). O pré-tratamento da biomassa com secagem por 24 h e congelamento por 24 h, associado ao processo químico de ruptura com agitação de 1 min se mostrou eficaz na extração dos carotenoides, obtendo-se rendimento de até 50 % quando comparado ao método 2.

Portanto, através da literatura consultada e os tratamentos aplicados neste estudo, é possível inferir que os pré-tratamento na biomassa para a levedura *R. mucilaginosa* são necessários, sendo que dentre os avaliados, o mais eficiente foi a secagem por 24 h seguido de congelamento por 24 h, alinhado ao processo de ruptura celular com DMSO descrito em T1 (Figura 1). Desta forma, utilizando este procedimento foi possível reduzir o tempo de processo em 48 h quando comparado com a metodologia comumente utilizada e descrita na literatura.

CONCLUSÃO

O método mais adequado para o pré-tratamento e extração de carotenoides, com 95 % de confiança, é o tratamento 1 (T1), proposto por Silva et al. (7). Esse demonstrou ser a combinação mais eficiente de pré-tratamento e extração, apresentando os melhores rendimentos ($272,81 \mu\text{g g}^{-1}$), reduzindo o tempo de processo em 48 h, além de ser 36,4 % mais eficiente quando comparado a metodologia padrão utilizada de acordo com a literatura.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001; ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e bolsas de produtividade em pesquisa; a FAPERGS e a Universidade Federal do Rio Grande (FURG).

REFERÊNCIAS

1. Chandra P, Sharma RK, Arora DS. Antioxidant compounds from microbial sources: A review. *Food Res Int.* 2020;129:108849.
2. Rao AR, Baskaran V, Sarada R, Ravishankar GA. In vivo bioavailability and antioxidant activity of carotenoids from microalgal biomass — A repeated dose study. *Food Res Int.* 2013;54(1):711–7.
3. Goodwin TW. *The Biochemistry of the Carotenoids*. 2. ed. Vol. 1. Dordrecht: Springer Netherlands; 1980.
4. Chociai MB, Machado IMP, Fontana JD, Chociai JG, Busato SB, Bonfim TMB. Cultivo da levedura *Phaffia rhodozyma* (*Xanthophyllomyces dendrorhous*) em processo descontínuo alimentado para produção de astaxantina. *Rev Bras Ciênc Solo*. [Internet]. 2002 [acesso em 25 Out 2022];38(4). Disponível em:

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-93322002000400008&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt

5. Prescendo Júnior D, Silva PGP, Burkert JFM, Santos LO. Aprimoramento da etapa downstream para a extração de carotenoides produzidos pela levedura *Phaffia rhodozyma*. Rev Bras Agrotecnologia. 2021;11(2):71–6.
6. Rodriguez-Amaya DB. Update on natural food pigments - A mini-review on carotenoids, anthocyanins, and betalains. Food Res Int. 2019;124:200–5.
7. Silva PGP, Prescendo Júnior D, Burkert JFM, Santos LO. Carotenoid extraction from *Phaffia rhodozyma* biomass: downstream strategies and economic evaluation of energy. Braz J Chem Eng. [Internet]. 2022 [acesso em 26 Out 2022]; Disponível em: <https://link.springer.com/10.1007/s43153-022-00225-7>
8. Rodrigues TVD, Amore TD, Teixeira EC, Burkert JFM. Carotenoid production by *Rhodotorula mucilaginosa* in batch and fed-batch fermentation using agroindustrial byproducts. Food Technol Biotechnol. 2019;57(3):388–98.
9. Valduga E, Tatsch PO, Tiggemann L, Treichel H, Toniazzo G, Zeni J, et al. Produção de carotenoides: microrganismos como fonte de pigmentos naturais. Quím Nova. 2009;32:2429-2436.
10. Cipolatti EP, Remedi RD, Sá CS, Rodrigues AB, Ramos JMG, Burkert CAV, et al. Use of agroindustrial byproducts as substrate for production of carotenoids with antioxidant potential by wild yeasts. Biocatal Agric Biotechnol. 2019;20:101208.
11. Rios DAS, Borba TM, Burkert JFM, Kalil SJ. Rice parboiling wastewater in the maximization of carotenoids bioproduction by *Phaffia rhodozyma*. Ciênc Agrotec. 2015;39:401–10.
12. Silva CM, Borba TM, Burkert CAV, Burkert JFM. Carotenoid production by *Phaffia rhodozyma* using raw glycerol as an additional carbon source. Int J Food Eng. [Internet]. 2012 [acesso em 23 Out 2022];8(4). Disponível em: <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/1556-3758.2843/html>
13. Otero DM, Bulsing BA, Huerta KM, Rosa CA, Zambiasi RC, Burkert CAV, et al. Carotenoid-producing yeasts in the brazilian biodiversity: isolation, identification and cultivation in agroindustrial waste. Braz J Chem Eng. 2019;36(1):117–29.
14. Fonseca RAS, Rafael RS, Kalil SJ, Burkert CAV, Burkert JFM. Different cell disruption methods for astaxanthin recovery by *Phaffia rhodozyma*. Afr J Biotechnol. 2011;10:1165–71.
15. Michelon M, Borba TM, Rafael RS, Burkert CAV, Burkert JFM. Extraction of carotenoids from *Phaffia rhodozyma*: A comparison between different techniques of cell disruption. Food Sci Biotechnol. 2012;21(1):1–8.
16. Choi MH, Park YH. Production of yeast biomass using waste Chinese cabbage. Biomass Bioenergy. 2003;25(2):221–6.
17. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). Official Methods of Analysis. 17. ed. Arlington, Va; 2000.
18. Machado WRM, Silva LG, Vanzela ESL, Bianchi VLD. Production of carotenoids by *Rhodotorula toruloides* isolated from brazilian tropical savannah. Int. Food Res. J. 2019;26:1259–1267.

CAPACIDADE ANTIOXIDANTE E ANTIMICROBIANA DE ESPÉCIES VEGETAIS DA FAMÍLIA ANACARDIACEAE: UMA BREVE REVISÃO DE LITERATURA

Matheus Willyan Ferreira dos Santos *; Daniel Medeiros Nunes ; Givaldo Gabriel Alves da Silva ; Marcio Michael Pontes ; Natalie Emanuelle Ribeiro Rodrigues ; Rosângela Estevão Alves Falcão 

*Matheus Willyan Ferreira dos Santos – Email: matheus.willyan@upe.br

Resumo: A utilização de compostos naturais como fármacos é um costume muito antigo, que representa a rica diversidade da flora brasileiro além de ser um hábito que faz parte da cultura do ser humano. Anacardiaceae é uma família botânica originária do Brasil, constituída por 80 gêneros e aproximadamente 800 espécies. No Brasil consta a existência de 14 gêneros com 57 espécies dentre as quais uma grande variedade dessas espécies está situada no nordeste brasileiro, Pode-se destacar espécies frutíferas como o cajueiro (*Anacardium occidentale*), o umbu (*Spondias tuberosa*), manga (*Mangifera indica*), Ciriguela (*Spondias purpurea*) e o cajá (*Spondias mombin*) comumente utilizadas na fitoterapia e medicina tradicional, visto que sua vasta composição de metabólitos secundários que atribuem potencial farmacológico. Devido a isso, olhares científicos buscam explorar esses metabólitos, uma vez que possuem capacidades antioxidantes e antimicrobiana. Tendo o potencial de aumentar a qualidade de vida humana com a inibição dos radicais livres através dos antioxidantes naturais, e diminuindo o consumo de antibióticos sintéticos, inibindo os mecanismos de resistência bacteriana.

Palavras-chave: Anacardiaceae; Fitoquímica; Plantas Medicinais; Antioxidante; Antimicrobiano

Abstract: The use of natural compounds as drugs is a very old custom, which represents the rich diversity of Brazilian flora, in addition to being a habit that is part of human culture. Anacardiaceae is a botanical family originating in Brazil, consisting of 80 genera and approximately 800 species. In Brazil, there are 14 genera with 57 species, among which a great variety of these species are located in the Brazilian northeast.), Ciriguela (*Spondias purpurea*) and cajá (*Spondias mombin*) commonly used in phytotherapy and traditional medicine, since its vast composition of secondary metabolites that attribute pharmacological potential. Due to this, scientific eyes seek to explore these metabolites, since they have antioxidant and antimicrobial resources. Having the potential to increase the quality of human life with the influence of free radicals through natural antioxidants, and observing the consumption of synthetic antibiotics, inhibiting the interruption of bacterial resistance.

Keywords: Anacardiaceae; Phytochemistry; Medicinal plants; Antioxidant; antimicrobial

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma vasta extensão territorial, conseqüentemente uma flora bastante diversificada, rica em uma vasta diversidade de espécies, entre as quais pode-se destacar as que possuem propriedades fitoterápicas, que representam uma importante parte da cultura que foi herdada de povos nativos da América Latina (1). Muitas dessas espécies foram incorporadas na etnofarmacologia a vários anos, fornecendo um gama de substâncias utilizadas na medicina contemporânea por todo o mundo (2). Em comunidades rurais, fazem o uso adequado de extratos vegetais diariamente no tratamento de diversas patologias, na forma de chás, compressa, banho, infusão, decocção e gargarejo, visando uma melhoria na qualidade de vida da população, evitando o uso excessivo de medicamentos sintéticos, que em alguns casos pode surtir efeitos colaterais (3).

A família Anacardiaceae compreende um grupo de espécies de angiospermas constituída por +/- 80 gêneros e mais de 800 espécies, encontradas principalmente em regiões de clima tropical e subtropical, podendo ser encontradas também em regiões de zona temperada (4). O reconhecimento das espécies ocorre através do reconhecimento da morfologia do endocarpo, mas devido às dificuldades do encontro de exemplares fósseis desta estrutura, retarda a avaliação sistemática dos mesmos (5). Essa família possui grande importância econômica devido aos seus frutos e pseudofrutos serem comestíveis são eles: seriguela (*Spondias purpurea*), manga (*Mangifera indica*), cajá (*Spondias mombin*) cajú (*Anacardium occidentale*), umbu (*Spondias tuberosa*) e seus troncos são utilizados como ornamentos ou manipulados em artesanato (6).

A etnofarmacologia investiga os metabólitos secundários de caráter natural, sendo considerados como uma grande fonte de antioxidantes e antimicrobianos, pois possui presenças de alguns compostos fitoquímicos (tanino, flavonóides, saponina, alcalóides e fenólicos) e uma variação de atividades biológicas (7). Devido a essas propriedades estas espécies são vistas no campo biotecnológico por fornecerem substâncias naturais de alta eficácia, tendo o potencial de fornecer atividades antimicrobianas e antioxidante.

O desenvolvimento de novos antibióticos demanda tempo e investimento financeiro, devido a facilidade dos microrganismos desenvolverem facilmente mecanismos de resistência, sendo assim o uso de extratos vegetais torna-se uma opção, visto que, age diretamente no microrganismo, desprezando o mecanismo de resistência (8). Já existe trabalhos na literatura que comprove a ação antimicrobiana de espécies da família em questão, são eles: *S. mombin* (9), *Rhus vulgaris* (10), *Spondias pinnata* (11) e *Spondias purpurea* (12), todas essas espécies citadas comprovaram atividades antimicrobiana em diferentes cepas bacterianas e fúngicas.

Além da capacidade antimicrobiana, os extratos vegetais das espécies de anacardiaceae possuem também atividade antioxidante contra radicais livres naturais e sintéticos (13). Na literatura, algumas espécies já são vistas com possível potencial antioxidante, são elas *Spondias mombin* (14), *Schinopsis brasiliensis* (13), *Spondias purpurea* (15) e *Spondias tuberosa* (16), todos os autores investigaram a capacidade antioxidante e comprovaram a atividade.

A presente revisão buscou investigar atividades etnofarmacológicas de variadas espécies pertencentes à família Anacardiaceae, conferindo enfoque nas suas capacidades antimicrobiana e antioxidante, abordando diferentes trabalhos já existentes na literatura. Alguns exemplares destas espécies podem ser conferidos na figura 1.



Figura 1 - Espécies mais comuns da família Anacardiaceae - A e B) folha e fruto da *Spondias purpurea*, conhecida como seriguela; C) folhas e flores da *Mangifera indica*, de nome popular, manga espada; D) árvore do *Anacardium occidentale*, conhecido como cajueiro; E) fruto e pseudofruto do cajueiro, conhecido como polpa e castanha do cajú, respectivamente; F) árvore do *Spondias tuberosa*, chamado popularmente de umbuzeiro.

METODOLOGIA

Com o intuito de analisar a literatura referente à capacidade antioxidante e antimicrobiana de espécies vegetais da família Anacardiaceae, foi realizado um estudo do tipo secundário, a partir da revisão descritiva e qualitativa da literatura nas bases eletrônicas de dados: Google Acadêmico e Scientific Electronic Library Online (Scielo). A consulta aos Descritores em Ciências Biológicas (DeCB) identificou as seguintes palavras-chave: antioxidante, antimicrobiana, vegetais e anacardiaceae. O critério de inclusão adotado foi a abordagem do tema pesquisado, que incluiu a seleção de 53 artigos, dos quais 42 foram utilizados na elaboração do trabalho, entre os anos de 2007 e 2022. Foram excluídos artigos sem relevância científica e que não estivessem na língua portuguesa ou inglesa.

ATIVIDADE ANTIOXIDANTE DE ESPÉCIES DA ANACARDIACEAE E SUAS APLICAÇÕES

Os radicais livres são moléculas instáveis e reativas, que possuem seus elétrons da última camada incompletos, facilitando a interação com as moléculas vizinhas (16). A produção de energia nas mitocôndrias é um dos principais meios de liberação de radicais livres endógenos. Dessa forma, esses elementos são liberados continuamente durante a atividade metabólica da célula (17, 18).

As espécies reativas de oxigênio (ROS) são radicais livres derivados do oxigênio, provenientes de reações metabólicas normais, alguns de seus exemplos são: O₂ (oxigênio molecular), O₂⁻ (ânio superóxido), HO₂ (radical hidroperoxila) e o OH· (radical hidroxila). Essas moléculas reativas podem causar danos nas células, levando inclusive à apoptose (19, 20).

Os antioxidantes são substâncias que conseguem eliminar ou neutralizar os radicais livres, através da doação de elétrons para a camada que se encontra desemparelhada (21, 22).

O nosso corpo produz antioxidantes naturais, como superóxido dismutase (SOD), ácido úrico, glutathione, transferina, catalase, entre outros (23, 24) O estresse oxidativo no organismo ocorre devido ao desbalanceamento de radicais livres e antioxidantes, em que os radicais estará em maior número (18). Nesses casos, é importante que o organismo adquira antioxidantes na sua dieta (vitamina A, E e C, flavonoides e carotenoides), a fim de neutralizar os radicais livres (25). Apesar dos benefícios oferecidos pelos antioxidantes naturais e seu grande potencial no combate aos radicais livres, eles ainda são pouco evidenciados.

Estudos com diferentes espécies da família Anacardiaceae já comprovam atividade antioxidante das mesmas. LIMA-SARAIVA *et al.*, (2017) (13) utilizou o extrato etanólico de *S. brasiliensis*, e encontrou na composição alto teor de flavonoides e taninos, confirmando o potencial antioxidante da espécie. *Pistacia terebinthus* planta aromática, no qual seus frutos são utilizados na Turquia como café. Nos trabalhos de Uysal *et al.* (2022) (26) mostrou que o extrato metanólico da espécie obteve uma boa atividade antioxidante natural. Nos trabalhos de Baptista *et al.* (2020) (27), Siracusa *et al.* (2020) (28), Souza *et al.* (2017) (29) Sruthi, Roopavathi e Naidu (2023) (30) no qual utilizaram uma das espécies mais conhecida da família anacardiaceae, *Anacardium occidentale*, de nome popular cajueiro, no qual todos os estudos citados acima obtiveram sucesso nos testes de atividade antioxidante. Apesar da comprovação da atividade antioxidante, todos os estudos citados não aprofundaram os estudos para possíveis aplicações, porém todos eles deixam como perspectiva para isso.

ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DE ESPÉCIES DA ANACARDIACEAE E SUAS APLICAÇÕES

A resistência bacteriana representa um problema de saúde pública, visto que ela está associada a cerca de 700 mil mortes por ano em todo o planeta (31, 32). A característica de resistência está envolvida nas alterações dos genes alvo de antibióticos, como resultado da integração de fragmentos, como plasmídeos. Essa transferência pode acontecer em organismos evolutivamente distantes como bactérias Gram-positivas e Gram-negativas (33).

Os antimicrobianos são medicamentos utilizados no tratamento de infecções bacterianas, com o intuito de inibir o desenvolvimento de microrganismos que possam resultar em infecções mais severas (34). Esses fármacos são compostos frequentemente utilizados em ambiente hospitalar, contudo, eles são os únicos agentes farmacológicos que não afetam somente os pacientes que os utiliza, mas também interferem de maneira significativa no ambiente por alterações microbiológicas, devido a modificações resultantes do uso excessivo de antimicrobianos (35).

Nesta perspectiva a identificação de compostos naturais adquiridos dos extratos de plantas como novos agentes antimicrobianos, tornando-se uma via alternativa no tratamento dos microrganismos multirresistentes (36). A família Anacardiaceae, além de ser explorada no ramo dos antioxidantes, também podem ser utilizadas como antimicrobianos naturais, devido a sua composição fitoquímica, no qual possuem fenóis e taninos, substâncias que apresentam propriedades defensivas contra microrganismos (12).

Viana *et al.* (2021) (37) fez a análise de dados e foi possível identificar atividade antimicrobiana de *Anacardium occidentale* frente a *Staphylococcus aureus* apresentando halos de inibição com extrato aquoso da espécie, contudo exemplares de *Mangifera indica*, não apresentam mesma eficiência frente a mesma cepa bacteriana. Ao realizar teste com *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae* não foi possível identificar atividade antimicrobiana. Oliveira *et al.* (2021) (38) demonstrou que o extrato de *Anacardium occidentale* apresenta atividade antibacteriana frente a *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.*, *Proteus mirabilis* e *Pseudomonas aeruginosa*.

O cajá (*Spondias mombin*) foi descrito como antibacteriano sem evidências contra leveduras e bactérias de cavidade oral. Ainda apresentando atividades antivirais e antifúngicas (39). Levando em consideração a atividade antimicrobiana dos extratos, a concentração mínima de inibição (MIC) para os extratos de casca e fruto do cajá frente às cepas de *Candida* e periodontopatógenos foi considerada baixa, sendo a concentração mínima de inibição de 8 mg/mL, sendo que apenas o ECC apresentou potencial antimicrobiano de amplo espectro de ação bacteriostática dos periodontopatógenos testados (40).

Nesse ínterim, ainda, tem-se o caju (*Anacardium occidentale*) como potencial antimicrobiano para microrganismos de cavidade bucal. Dentre eles, *Streptococcus mutans*, *Streptococcus aureus*, *Candida albicans* e *Candida utilis*. Nesse viés, o óleo extraído do *Anacardium occidentale* apresentou maior atividade inibitória sobre a bactéria Gram positiva *Streptococcus mutans*, que apresenta-se dominante na cárie dentária (41). Com isso, nota-se a ocorrência de diferentes efetividades nas atividades antimicrobianas entre as espécies de Anacardiaceae. Assim, percebe-se que *Anacardium occidentale* apresenta atividade antimicrobiana frente a *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella sp.*, *Proteus mirabilis* e *Pseudomonas aeruginosa*, além de outras bactérias da cavidade oral, como *Streptococcus mutans* e *Streptococcus aureus*. Por outro lado, a atividade antimicrobiana tanto de *Spondias mombin*, quanto de *Mangifera indica*, não apresentaram resultados satisfatórios.

CONCLUSÕES

Conclui-se que algumas das espécies existentes na família Anacardiaceae são ricas em metabólitos secundários, sendo eles flavonóides, taninos, saponinas, polifenóis e etc, com isso, acabam conferindo a capacidade antioxidante e antimicrobiano. Dentre elas, pode-se citar *S. brasiliensis*, *Pistacia terebinthus* e *Anacardium occidentale* com capacidade antioxidante. E, ainda, a *Anacardium occidentale* com potencial capacidade antimicrobiana.

REFERÊNCIAS

- 1- MATOS, Simone Fraga. Plantas medicinais no nordeste brasileiro: biodiversidade e os seus usos. 2021.
- 2- PALHARES RM, Baratto LC, Scopel M, Mügge FLB, Brandão MGL. Medicinal Plants and Herbal Products From Brazil: How Can We Improve Quality? Front Pharmacol. 2021 Jan 27;11:606623. doi: 10.3389/fphar.2020.606623. PMID: 33584281; PMCID: PMC7873041.
- 3- CARVALHO, Cecília de Souza; SILVA, Marcília Martins da; ABREU, Lizandro Pereira de; GOMES, Patrine Nunes. Avaliação do perfil socioeconômico e conhecimento botânico

de plantas medicinais na comunidade rural de Santa Marta, Corrente-PI/ Socioeconomic profile and botanical knowledge of medicinal plants in rural community Santa Marta, Corrente-PI. *Brazilian Journal Of Development*, [S.L.], v. 7, n. 7, p. 71402-71421, 14 jul. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n7-357>.

4- SILVA, Dayse Pereira Dias. Caracterização de compostos fenólicos por espectrometria de massas e potencial antioxidante das cascas de *Myracrodruon urundeuva* (aroeira-do-sertão) do cariri paraibano. 2018.

5- HERRERA, Fabiany; MITCHELL, John D.; PELL, Susan K.; COLLINSON, Margaret E.; DALY, Douglas C.; MANCHESTER, Steven R.. Fruit Morphology and Anatomy of the Spondioid Anacardiaceae. *The Botanical Review*, [S.L.], v. 84, n. 4, p. 315-393, 3 ago. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s12229-018-9201-1>.

6- COSTA, Davi Nascimento; SOUZA, Ruanna Thaimires Brandão; OLIVEIRA, Regigláucia Rodrigues de; REIS, Renata Brito dos; NASCIMENTO, Maria Gracelia Paiva; SOUZA, Giovanna Santos de; MACÊDO, Maria do Amparo de Moura; ARAUJO, Nailton de Souza; MESQUITA, Emerson Bruno Castro; BATISTA, Giovana Sarah Sales. Mapeamento prospectivo científico e tecnológico da família Anacardiaceae R. Br. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 10, n. 12, p. 1-12, 26 set. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20746>.

7- ASHA, C.; RESMI, M.s.; SONIY, E.V.. In vitro Antioxidant Analysis and the DNA Damage Protective Activity of Leaf Extract of the *Excoecaria agallocha* Linn Mangrove Plant. *Agricultural Chemistry*, [S.L.], p. 155-166, 20 fev. 2013. InTech. <http://dx.doi.org/10.5772/5541>

8- SOUSA, Davi Santana; RODRIGUES, Giancarlos Costa; GASPAR, Livia Maria do Amorim Costa; MACHADO, Tatiane de Oliveira Xavier; VALVERDE, Fernanda Guimarães; PADILHA, Francine Ferreira; ALMEIDA, Daniela Droppa-. Análise prospectiva científica e tecnológica sobre *Myracrodruon urundeuva* (aroeira do sertão) e a resistência bacteriana. *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 10, n. 11, p. 1-12, 25 ago. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i11.19505>.

9- FREITAS, Maria Audilene de; CRUZ, Rafael Pereira da; SANTOS, Antonia Thassya Lucas dos; ALMEIDA-BEZERRA, José Weverton; MACHADO, Antonio Júdson Targino; SANTOS, Joycy Francely Sampaio dos; ROCHA, Janaina Esmeraldo; BOLIGON, Aline Augusti; BEZERRA, Camila Fonseca; FREITAS, Thiago Sampaio de. HPLC-DAD analysis and antimicrobial activities of *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae). *3 Biotech*, [S.L.], v. 12, n. 3,, 7 fev. 2022. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13205-022-03126-1>.

10- MUTUKU, Angela; MWAMBURI, Lizzy; KETER, Lucia; ONDICHO, Joyce; KORIR, Richard; KURIA, James; CHEMWENO, Timothy; MWITARI, Peter. Evaluation of the antimicrobial activity and safety of *Rhus vulgaris* (Anacardiaceae) extracts. *Bmc Complementary Medicine And Therapies*, [S.L.], v. 20, n. 1, 10 set. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-020-03063-7>.

11- LI, Ren; YANG, Jing-Jing; SONG, Xing-Zhen; WANG, Yuan-Fei; CORLETT, Richard; XU, You-Kai; HU, Hua-Bin. Chemical Composition and the Cytotoxic, Antimicrobial, and Anti-Inflammatory Activities of the Fruit Peel Essential Oil from *Spondias pinnata* (Anacardiaceae) in Xishuangbanna, Southwest China. *Molecules*, [S.L.], v. 25, n. 2, 15 jan. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules25020343>.

12- OLIVEIRA, Ykaro Richard; SOUSA, Welinton Gustavo Moreira de; SILVA, Paulo Henrique da; PACHECO, Ana Carolina Landim; ABREU, Maria Carolina de. Anacardiaceae na Medicina Tradicional de Comunidades Rurais do Piauí, Nordeste do Brasil. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 32-42, 30 mar. 2022. Editora e Distribuidora Educacional. <http://dx.doi.org/10.17921/1415-6938.2022v26n1p32-42>.

13- LIMA-SARAIVA, Sarah Raquel Gomes de; OLIVEIRA, Fernanda Granja da Silva; OLIVEIRA JUNIOR, Raimundo Gonçalves de; ARAËJO, Camila de Souza; OLIVEIRA, Ana Paula de; PACHECO, Alessandra Gomes Marques; ROLIM, Larissa Araújo; AMORIM, Elba Lúcia Cavalcanti de; CÉSAR, Francine Celise Siqueira; ALMEIDA, Jackson Roberto Guedes da Silva. Chemical Analysis and Evaluation of Antioxidant, Antimicrobial, and Photoprotective Activities of *Schinopsis brasiliensis* Engl. (Anacardiaceae). *The Scientific World Journal*, [S.L.], v. 2017, p. 1-10, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/1713921>.

14- ABIODUN, Oyindamola Olajumoke; NNORUKA, Mesoma Esther; TIJANI, Rasidat Olufunke. Phytochemical Constituents, Antioxidant Activity, and Toxicity Assessment of the Seed of *Spondias mombin* L. (Anacardiaceae). *Turkish Journal Of Pharmaceutical Sciences*, [S.L.], v. 17, n. 3, p. 343-348, 1 jun. 2020. Galenos Yayinevi. <http://dx.doi.org/10.4274/tips.galenos.2020.38801>.

15- ALMEIDA, Cynthia Layse Ferreira de; BRITO, Samara Alves; SANTANA, Temístocles Italo de; COSTA, Henrique Bandeira Alves; CARVALHO JÚNIOR, Carlson Helder Reis de; SILVA, Márcia Vanusa da; ALMEIDA, Lécio Leone de; ROLIM, Larissa Araújo; SANTOS, Vanda Lucia dos; WANDERLEY, Almir Gonçalves. *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae): antioxidant and antiulcer activities of the leaf hexane extract. *Oxidative Medicine And Cellular Longevity*, [S.L.], v. 2017, p. 1-14, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/6593073>.

16- CORDEIRO, Bruna Maria Pereira da Costa; SANTOS, Nataly Diniz de Lima; FERREIRA, Magda Rhayanny Assunção; ARAËJO, Larissa Cardoso Corrêa de; CARVALHO JUNIOR, Alexsander Rodrigues; SANTOS, Alan Diego da Conceição; OLIVEIRA, Ana Paula de; SILVA, Alexandre Gomes da; FALCÃO, Emerson Peter da Silva; CORREIA, Maria Tereza dos Santos. Hexane extract from *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae) leaves has antioxidant activity and is an anti-Candida agent by causing mitochondrial and lysosomal damages. *Bmc Complementary And Alternative Medicine*, [S.L.], v. 18, n. 1, 19 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-018-2350-2>.

17- NASCIMENTO, Guilherme Feitosa do; DUTRA, Jéssika Veridiano; MELO, Francislete Rodrigues. Determinação de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante de extratos dos vegetais: Unha de gato (*Uncaria Tomentosa*); Indiano Oli-Banum (*Boswellia Serrata*); Gymnema (*Gymnema Sylvestre*) E Alcachofra (*Cynara Scolymus*). Brazilian Journal Of Development, Curitiba, v. 6, n. 12, p. 96637-96656, dez. 2020.

18- RODRIGUES, Onaldo Guedes; ANGÉLICO, Elissandra Couras; COSTA, José Galberto Martins da; LUCENA, Maria de Fátima Araújo; QUEIROGA NETO, Vicente; SILVA, Wilson Wouflam. Avaliação da atividade antioxidante dos extratos botânicos de *Croton Heliotrpiifolius* Kunth. e *Croton blanchetianus* Baill: Resultados Preliminares. Agropecuária Científica no Semiárido, [s. l], v. 12, n. 3, p. 237-241, set. 2016.

19- VARGAS, Fabiano S. de; ALMEIDA, Patricia D. O.; BOLETI, Ana Paula A. de; PEREIRA, Maria M.; SOUZA, Tatiane P. de; VASCONCELLOS, Marne C. de; NUNEZ, Cecilia Veronica; POHLIT, Adrian M.; LIMA, Emerson S.. Antioxidant activity and peroxidase inhibition of Amazonian plants extracts traditionally used as anti-inflammatory. BMC Complementary And Alternative Medicine, [S.L.], v. 16, n. 1, 27 fev. 2016. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-016-1061-9>.

20- KENGNE, Irene Chinda; FEUGAP, Léonel Donald Tsamo; NJOUENDOU, Abdel Jélil; NGNOKAM, Claudia Darille Jouogo; DJAMALLADINE, Mahamat Djamalladine; NGNOKAM, David; VOUTQUENNE-NAZABADIOKO, Laurence; TAMOKOU, Jean-de-Dieu. Antibacterial, antifungal and antioxidant activities of whole plant chemical constituents of *Rumex abyssinicus*. BMC Complementary Medicine And Therapies, [S.L.], v. 21, n. 1, 5 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-021-03325-y>

21- SALEHI, Bahare; GÜLTEKIN-ÖZGÜVEN, Mine; KIRKIN, Celale; ÖZÇELİK, Beraat; MORAIS-BRAGA, Maria Flaviana Bezerra; CARNEIRO, Joara Nalyda Pereira; BEZERRA, Camila Fonseca; SILVA, Teresinha Gonçalves da; COUTINHO, Henrique Douglas Melo; AMINA, Benabdallah. Antioxidant, Antimicrobial, and Anticancer Effects of Anacardium Plants: an ethnopharmacological perspective. Frontiers In Endocrinology, [S.L.], v. 11, 12 jun. 2020. Frontiers Media SA. <http://dx.doi.org/10.3389/fendo.2020.00295>.

22- MULYONO, Agus; SASMITANINGHIDAYAH, Wiwis. Effectiveness of Catching Free Radicals in Cigarette Smoke with Biofilters Made from Bidara Leaf Powder. Jurnal Pendidikan Fisika Dan Keilmuan (Jpfdk, S.L, v. 7, n. 1, p. 31-38, mar. 2021.

23- JASKI, M.; LOTÉRIO, N.; SILVA, D. A ação de alguns antioxidantes no processo de envelhecimento cutâneo. Curso de Cosmetologia e Estética da Universidade do Vale do Itajaí – UNIVALI. Balneário Camboriú: UNIVALE, 2014.

24- MAHMOOD, Ali; HAFEEZ, Malik. Antioxidant Activity Of *Syzygium Aromaticum* And *Cinnamomum Verum* Seed Extracts. Biological And Clinical Sciences Research Journal, S.L., v. 2021, n. 63, p. 1-4, maio 2021

25- MONDAL, Milon; HOSSAIN, Md. Monir; HASAN, Md. Rakib; TARUN, Md. Towhidul Islam; ISLAM, Md. Al Foyjul; CHOUDHURI, M. S. K.; ISLAM, Muhammad

Torequl; MUBARAK, Mohammad S.. Hepatoprotective and Antioxidant Capacity of Mallotus repandus Ethyl Acetate Stem Extract against d-Galactosamine-Induced Hepatotoxicity in Rats. *Acs Omega*, [S.L.], v. 5, n. 12, p. 6523-6531, 18 mar. 2020. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/acsomega.9b04189>.

26- UYSAL, Sengul; SINAN, Kouadio Ibrahime; JEKő, József; CZIÁKY, Zoltán; ZENGİN, Gokhan. Chemical characterization, comprehensive antioxidant capacity, and enzyme inhibitory potential of leaves from *Pistacia terebinthus* L. (Anacardiaceae). **Food Bioscience**, [S.L.], v. 48, p. 0-0, ago. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101820>.

27- BAPTISTA, Anderson Barbosa; SARANDY, Mariáurea M.; GONÇALVES, Reggiani Vilela; NOVAES, Rômulo Dias; COSTA, Cláudio Gonçalves da; LEITE, João Paulo Viana; PELUZIO, Maria do Carmo Gouveia. Antioxidant and Anti-Inflammatory Effects of *Anacardium occidentale* L. and *Anacardium microcarpum* D. Extracts on the Liver of IL-10 Knockout Mice. **Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine**, [S.L.], v. 2020, p. 1-13, 7 dez. 2020. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2020/3054521>.

28- SIRACUSA, Rosalba; FUSCO, Roberta; PERITORE, Alesso; CORDARO, Marika; D'AMICO, Ramona; GENOVESE, Tiziana; GUGLIANDOLO, Enrico; CRUPI, Rosalia; SMERIGLIO, Antonella; MANDALARI, Giuseppina. The Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of *Anacardium occidentale* L. Cashew Nuts in a Mouse Model of Colitis. **Nutrients**, [S.L.], v. 12, n. 3, 20 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu12030834>.

29- SOUZA, Natália Cabral; OLIVEIRA, Juliana Medeiros de; MORRONE, Maurílio da Silva; ALBANUS, Ricardo D'oliveira; AMARANTE, Maria do Socorro Medeiros; CAMILLO, Christina da Silva; LANGASSNER, Silvana Maria Zucolotto; GELAIN, Daniel Pens; MOREIRA, José Cláudio Fonseca; DALMOLIN, Rodrigo Juliani Siqueira. Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of *Anacardium occidentale* Leaf Extract. **Evidence-Based Complementary And Alternative Medicine**, [S.L.], v. 2017, p. 1-8, 2017. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2017/2787308>.

30- SRUTHI, P.; ROOPAVATHI, C.; NAIDU, M. Madhava. Profiling of phenolics in cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) testa and evaluation of their antioxidant and antimicrobial properties. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 51, p. 102246, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102246>.

31- COSTA, Anderson Luiz Pena da; SILVA JUNIOR, Antonio Carlos Souza. Resistência bacteriana aos antibióticos e Saúde Pública: uma breve revisão de literatura. *Estação Científica (Unifap)*, [S.L.], v. 7, n. 2, p. 45-57, 23 ago. 2017. Universidade Federal do Amapá. <http://dx.doi.org/10.18468/estcien.2017v7n2.p45-57>.

32- MATHÉ-HUBERT, Hugo; AMIA, Rafika; MARTIN, Mikaël; GAFFÉ, Joël; SCHNEIDER, Dominique. Evolution of Bacterial Persistence to Antibiotics during a 50,000-Generation Experiment in an Antibiotic-Free Environment. *Antibiotics*, [S.L.], v. 11, n. 4, p. 0-0, 27 mar. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antibiotics11040451>.

- 33- RIEDEL, Stefan. Microbiologia Médica de Jawetz, Melnick & Adelberg-28. McGraw Hill Brasil, 2022.
- 34- TROCADO, N. D. Detecção fenotípica e genotípica de bactérias resistentes aos antibióticos em sucos de frutas *in natura* provenientes de um hospital público do Rio de Janeiro 2020. Monografia a Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.
- 35- OUSHI, Caroline. "*Pseudomonas aeruginosa* e *Acinetobacter baumannii*: perfil antimicrobiano atual das duas principais espécies de bacilos gram negativos não fermentadores de glicose causadores de infecção em UTIs." (2022).
- 36- BRUSAMARELLO, Micheli Negri. Encapsulamento, caracterização e avaliação da atividade antioxidante e antimicrobiana do extrato aquoso de *Baccharis trimera* (Less.) DC para o controle de patógenos entéricos de suínos. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- 37- PINTO, Camyla Carvalho Almeida; VIANA JUNIOR, Vicente Galber Freitas; VIANA, Vicente Galber Freitas; VIANA, Deuzuita dos Santos Freitas. Potencial antibiótico de nanopartículas de prata estabilizadas em extrato hidroalcoólico de matruz (*Chenopodium ambrosioides*). Research, Society And Development, [S.L.], v. 11, n. 13, p. 1-1, 7 out. 2022. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i13.35101>.
- 38- OLIVEIRA, Claudio Bruno Silva de; BARROS, Amanda Vieira de; MELO, Brena Karisa Campos de; COSTA, Thaisa Nayara Bezerra Gois da; CAMPOS, Daniel Melo de Oliveira; OLIVEIRA, Jonas Ivan Nobre. AS RIQUEZAS DA CAATINGA E SEU POTENCIAL FARMACOLÓGICO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA. South American Journal Of Basic Education, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 771-791, 29 jun. 2021.
- 39- OLIVEIRA, Thais Emboaba de; GREATTI, Vanessa Raquel; SORRECHIA, Rodrigo; PIETRO, Rosemeire C. L. R.. Antimicrobial activity: potential of *Spondias purpurea* (anacardiaceae) against bacterial and fungal species. Journal Of Medical Microbiology, [S.L.], v. 71, n. 9, 13 set. 2022. Microbiology Society. <http://dx.doi.org/10.1099/jmm.0.001575>.
- 40- FREITAS, Raphael Fernando Dias de; CANELLI, Amanda Pissinatti; ARO, Andrea Aparecida de; SARTORATTO, Adilson; FRANZINI, Cristina Maria; GÓES, Vivian Fernandes Furletti de. AVALIAÇÃO "IN VITRO" DA EFICÁCIA DO EXTRATO HIDROALCOÓLICO DO CAJÁ (*SPONDIAS MOMBIN* L.) E DA GRAVIOLA (*ANNONA MURICATA* L.) SOBRE MICROORGANISMOS ORAIS / IN VITRO EVALUATION OF THE EFFICACY OF CAJÁ (*SPONDIAS MOMBIN* L.) AND SOURSOP (*ANNONA MURICATA* L.) HYDROALCOHOLIC EXTRACT ON ORAL MICROORGANISMS. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 6, n. 9, p. 66772-66793, 2020. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n9-204>.
- 41- LIMA, Carlos Alberto de; PASTORE, Glaucia Maria; LIMA, Eliza Dorotea Pozzobon de. Atividade antimicrobiana do extrato de *Anacardium occidentale* Linn. em amostras multiresistentes de *Staphylococcus aureus*. Revista Brasileira de Farmacognosia 17, 572-577, 2007.

Capítulo 22

Doi.org/10.53934/9786599965814-22

RELEVÂNCIA DO ÓLEO ESSENCIAL DA PANC PEIXINHO-DA-HORTA: UMA REVISÃO

Pedro Henrique Silva de Rossi *; Juliana Audi Giannoni ; Elke Shigematsu 
Claudia Dorta ; Flávia Maria Vasques Farinazzi-Machado ; Alda Maria
Bueno Machado Otoboni ; Renata Bonini Pardo 

*Pedro Henrique Silva de Rossi – Email: pps.2010.ph@gmail.com

Resumo: Produtos à base de plantas, como óleos essenciais e outros extratos, são usados há séculos devido às suas propriedades benéficas. Atualmente, seu uso é amplamente difundido através de uma variedade de indústrias e novas aplicações estão continuamente surgindo. Por esses motivos, são produzidos industrialmente em grandes quantidades e consequentemente têm potencial para atingir o meio ambiente. No entanto, os efeitos potenciais que esses produtos têm na saúde dos ecossistemas são, em sua maioria, desconhecidos. Esta revisão descreve a relevância dos óleos essenciais e extratos de plantas com ênfase na PANC Peixinho-da -Horta. No geral, e apesar de serem geralmente considerados produtos “ecológicos” e mais seguros do que os sintéticos, alguns óleos essenciais e extratos de plantas são tóxicos para organismos não-alvo. Dado o crescente interesse da indústria por esses produtos à base de plantas, mais pesquisas usando protocolos padronizados internacionais são obrigatórias.

Palavras-chave: Óleos Essenciais; Plantas PANC; Produtos à base de plantas;

Abstract: Herbal products like essential oils and other extracts have been used for centuries due to their forgiving properties. Today, its use is widespread across a variety of technologies and new applications are continually emerging. For these reasons, they are industrially produced in large quantities and consequently have the potential to reach the environment. However, the potential effects these products have on the health of ecosystems are mostly unknown. This review describes the current state of the art on the toxic effects that essential oils and plant extracts have at different trophic levels. Overall, and despite being generally considered “green” and safer than synthetic products, some essential oils and plant extracts are toxic to non-target organisms. Given the growing industry interest in these herbal products, further research using protocols from international concerns is warranted.

Key Word: Essential oils; PANC plants; Herbal products;

INTRODUÇÃO

Plantas alimentícias não convencionais (PANC) são hortaliças ou partes sendo: raízes, tubérculos, bulbos, rizomas, caules, caules, folhas, brotos, flores, frutos e sementes, que geralmente não são consumidas como alimento, mas podem tornar-se e, assim, garantir os requisitos nutricionais necessários a população. Este consumo experimentou resgate de alimentos, pois algumas PANC estão em âmbito regional ou populações e hábitos mais tradicionais que podem ser perdidos se não forem resgatados^[1].

É importante ressaltar ainda que o Brasil apresenta uma elevada extensibilidade territorial, o que permite amplificar os estudos sobre as diferentes PANC, se faz necessário incentivo ao trabalho de resgate das práticas culturais de cultivo no sentido de evitar a extinção de algumas espécies^[2].

Os óleos essenciais e extratos de plantas são utilizados há séculos na medicina tradicional, na culinária (como realçadores de sabor), na perfumaria e no setor cosmético, devido às suas propriedades únicas^[3]. Os óleos essenciais são líquidos voláteis obtidos por destilação de qualquer parte de uma planta ou por um processo mecânico quando obtidos a partir do epicarpo de uma fruta cítrica à temperatura ambiente.

Durante o processo de extração de óleos essenciais por destilação, também podem ser obtidos hidrolatos como subproduto. Um hidrolato é, segundo a Organização Internacional de Padronização (ISO), a água destilada que resta após o processo de destilação e geralmente é rica em componentes solúveis em água do óleo essencial^[4].

As plantas produzem óleos essenciais naturalmente como metabólitos secundários em resposta ao estresse, como defesa contra ataques de patógenos e para atrair polinizadores que desempenham um papel essencial na reprodução da planta. Variações nas condições ambientais e fatores ecológicos impactam diretamente na capacidade de uma planta produzir óleos essenciais, afetando também o tipo de compostos produzidos e a qualidade e quantidade dos óleos^[5].

Óleos essenciais e extratos de plantas têm sido continuamente utilizados como fonte de moléculas bioativas. Devido ao crescente interesse dos clientes por produtos naturais e mais seguros, a demanda por produtos de base natural aumentou nos últimos anos. De fato, as aplicações desses compostos derivados de plantas estão atualmente espalhadas por quase todos os setores da atividade econômica, como alimentos, agricultura, farmacêutico, cosmético e têxtil^[6].

E as indústrias estão acompanhando essa demanda dos consumidores por produtos naturais. Em 2007, a produção global de óleos essenciais foi de cerca de 100 quilotons.

Em maio de 2020, uma análise do tamanho do mercado no mercado global de óleos essenciais pela *Grand View Research*, estimou que a demanda global por esses produtos seja de cerca de 247 quilotons em 2020, esperando-se que continue crescendo nos próximos anos, com o mesmo relatório estimando que a demanda quase dobrará até 2027 para impressionantes 473 quilotons^[7].

De longe, os mais produzidos são os óleos de laranja, limão e menta.

Esses óleos representam mais de dois terços da produção total de culturas essenciais. Na UE (União Europeia), em 2016 a produção de óleos essenciais foi de cerca de 41 quilotons, embora os maiores produtores ao redor do mundo sejam países asiáticos como China, Índia e Indonésia.

Essa intensa pesquisa da comunidade científica é responsável pela descoberta de novos compostos e novas aplicações de compostos extraídos de plantas^[8,9]. Entre essas novas aplicações, algumas abordam os problemas de saúde mais presentes de nossa sociedade, como, por exemplo, resistência antimicrobiana (RAM), doenças transmitidas por vetores e câncer. Recentemente, produtos naturais (incluindo óleos essenciais) têm se revelado um importante aliado no desenvolvimento de produtos com propriedades antibacterianas que podem ser usados no lugar de antibióticos^[10].

Outra preocupação crescente é a resistência dos insetos, principalmente aqueles que atuam como vetores de doenças, aos pesticidas químicos sintéticos e às questões ambientais ligadas ao uso generalizado desses produtos químicos que muitas vezes resultam na contaminação de longo prazo de solos e corpos d'água, com graves consequências para os ecossistemas e a saúde humana^[11].

Óleos essenciais e extratos de algumas plantas têm sido estudados quanto ao seu potencial para serem utilizados como biopesticidas que podem ter efeitos semelhantes aos defensivos químicos com a vantagem de, na maioria das vezes, apresentar alta degradabilidade no meio ambiente e serem relativamente seguros para não-alvo. Além das propriedades antimicrobianas e do potencial uso como biopesticidas, óleos essenciais e extratos de plantas também têm sido intensamente estudados por sua atividade citotóxica em células tumorais^[12].

Esta revisão expressa e abrange dentro da literatura a relevância dos óleos essenciais, especialmente o Peixinho-da-Horta. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica nas bases de dados *Scopus*, *PubMed* e *Web of Science* em novembro de 2022, usando a seguinte *string* de pesquisa: *Essential oil(s) AND Plant extract(s) AND Toxicity AND PANC*.

METODOLOGIA

Bancos de dados como MEDLINE/Pubmed, Scielo e Google Acadêmico foram consultados.

DESENVOLVIMENTO

Peixinho-da-Horta ganha atenção como PANC, com foco em consumidores que aderem a uma alimentação saudável. Esse aumento no consumo de vegetais parece estar relacionado à busca dos consumidores por alimentos de origem vegetal devido a preocupações com a saúde e o meio ambiente, uma vez que a cadeia produtiva de alimentos de origem vegetal produz menos emissões de CO₂. Também tem aumentado o uso da espécie por pequenos agricultores, que a cultivam para consumo próprio, principalmente para usos medicinais baseados na medicina tradicional^[14].

O Peixinho-da-Horta é rico em proteínas, superiores aos encontrados em plantas consideradas fontes de proteínas, como a *ora-pro-nóbis*^[15].

Um tema comum entre a soberania alimentar e os temas da PANC é a conservação da sociobiodiversidade, que reflete a relação dinâmica e complexa entre as sociedades humanas, as plantas cultivadas e os ambientes em que coexistem. As dimensões socioculturais da soberania alimentar incluem: uso das PANC; aproximação da produção e consumo de alimentos; ponte entre o urbano e o rural; valorização da agrobiodiversidade na alimentação natural e regional; respeito às tradições de todos os povos e comunidades tradicionais; identidade própria, memória e cultura alimentar^[16].

Produtos naturais com ampla diversidade química e propriedades biológicas estão no centro das atenções para estudos de design e descoberta de medicamentos. A perda da biodiversidade está diretamente ligada a processos socioeconômicos que reduzem a qualidade de vida, como a fome e a pobreza extrema. Destruição de monoculturas e áreas de mata destinadas à pecuária reduz a variedade de alimentos disponíveis para consumo, principalmente nas PANC^[17].

A Stachys byzantina (peixinho-da-horta)

A espécie vegetal *Stachys byzantina*, comumente conhecida como peixinho-da-horta (lambari pequeno, orelha de coelho, orelha de lebre) é nativa da Turquia e da Ásia, podem ser encontradas em climas temperados, entre 5 e 30 °C^[18].

No Brasil, é cultivada nas regiões sul, sudeste e centro-oeste. É uma erva perene, com cerca de 30 cm de altura, formando cachos de dezenas de propágulos. Por ser uma planta rústica, é pouco exigente e muito tolerante ao ataque de pragas e doenças. As folhas podem ser colhidas após 60-70 dias, pois o tamanho das células ultrapassa 8 cm e pode chegar facilmente a 15 cm^[19].

A *Stachys byzantina* apesar de não ter comprovações científicas confirmadas sobre sua função terapêutica é utilizada pela população para afecções dos pulmões, asma, bronquite, dores: na barriga, no corpo, na garganta, gripe, resfriado, próstata e pneumonia^[20].

Um dos pontos a serem avaliados na presente pesquisa diz respeito aos ácidos graxos. Em estudo realizado no Irã^[21], realizou-se a extração de óleos essenciais da *Stachys byzantina* e foram encontrados vinte e quatro componentes, representando 88,5% do total do óleo, dos quais sesquiterpenos *acopaene* (16,5%), *espatulenol* 16,1%), β -*cariofileno* (14,3%) e β -*cubebene* (12,6%) foram os componentes principais, sabe-se que o clima, o solo e outros fatores influenciam na composição química dos vegetais, portanto será possível uma comparação.

Em um estudo conduzido por^[22], avaliaram a atividade antiproliferativa de glicosídeos isolados de flavonoides e ácidos graxos de *Stachys bizantino* em três linhagens celulares: C6, Hela e Vero. Ensaio mais complexos são recomendados para definir de forma mais ampla os aspectos da avaliação do potencial antiproliferativo de compostos, componentes e ácidos individuais.

A crescente demanda global por produtos naturais saudáveis derivados de plantas produtos devido à presença de vários compostos bioativos (por exemplo, compostos fenólicos) em plantas tem atraído a atenção de cientistas na busca por encontrar novas entidades com bioatividade dominante contra doenças diferentes, talvez com efeitos colaterais mínimos, mas eficácia máxima. O Peixinho-da-Horta exibiu maior teor de fenólicos totais em comparação com outras espécies de plantas não convencionais, obtendo níveis de vitamina C e também apresentaram valores baixos, e a atividade antioxidante manteve-se moderada^[23].

Novas Perspectivas no uso de óleos essenciais e extratos vegetais

Uma das aplicações potenciais mais estudadas de óleos essenciais e extratos vegetais refere-se à substituição de pesticidas químicos por biopesticidas. Esta área tem recebido atenção crescente nos últimos anos com numerosos estudos abordando a toxicidade de óleos essenciais e extratos de plantas para insetos que afetam as culturas e seu potencial uso como biopesticidas^[24].

Óleo bruto das folhas

Óleo essencial é, por definição, o produto obtido por destilação, hidrodestilação ou destilação por arrastamento de vapor, de uma planta ou das suas partes, ou por um processo mecânico, sem envolvimento de calor, que decorre por prensagem, ou picotagem, do fruto e seu arrastamento pela água^[25].

Uma vez extraído, o óleo essencial é separado da fase aquosa por um processo que não envolva alteração da sua composição, como, por exemplo, a centrifugação^[26]. A definição de óleos refinados consiste em: óleos vegetais submetidos a processos físicos ou químicos para retirada de fosfolipídios, esteróis, tocoferóis, hidrocarbonetos, pigmentos e outros componentes não glicérides.

CONCLUSÕES

Os óleos essenciais e extratos de plantas são uma parte importante dos produtos derivados de plantas com uma ampla gama de aplicações em vários tipos de indústrias, incluindo alimentos, agricultura, produtos farmacêuticos, cosméticos e têxteis. Espera-se que a demanda por esses produtos aumente à medida que a demanda por produtos mais naturais continua a aumentar. Portanto, será cada vez mais importante avaliar sua segurança no ecossistema.

As folhas de peixinho-da-horta apresentam elevado teor proteico e de cinzas, mostrando-se um alimento nutritivo e com alto teor de minerais. A inserção do peixinho na alimentação se mostra promissora, pois além de possuir ácidos graxos essenciais em sua composição, tem um valor proteico elevado, bem como o teor de cinzas.

REFERÊNCIAS

- [1.]BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Agrobiodiversidade e diversidade cultural. Brasília: MMA/SBF, 2006. 82 p.
- [2.]BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Arranjos produtivos locais: APLs de produtos da sociobiodiversidade / Ministério do Meio Ambiente – Brasília, DF: MMA, 2017. 140 p.
- [3.]CAMELO, G. G. S.; BLUM, J. Nutrient flows in small-scale farm production systems from Northeastern Brazil. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 2018.
- [4.]CRUZ, M. P.; PERONI, N.; ALBUQUERQUE, U. P. Knowledge, use and management of native wild edible plants from a seasonal dry forest (NE, Brazil). *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, v. 9, n. 79, p. 1-10, 2013.
- [5.]HICKEY, G. M.; POULIOT, M.; SMITH-HALL, C.; WUNDER, S.; NIELSEN, M. R. Quantifying the economic contribution of wild food harvests to rural livelihoods: A global-comparative analysis. *Food Policy*, v. 62, p. 122–132, 2016.
- [6.]LIAO, W. C.; LAI, Y.-C.; YUAN, M.-C.; HSU, Y.-L.; CHAN, C.-F. Antioxidative activity of water extract of sweet potato leaves in Taiwan. *Food Chemistry*, v. 127, n. 3, p. 1224-1228, 2011.
- [7.]NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 6ª ed. Artmed, 2014. 1328 p.
- [8.]NURZYŃSKA-WIERDAK, R. Protein nutritional value of rocket leaves and possibilities of its modification during plant growth. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, v. 39, n. 6, p. 1023–1028, 2015.
- [9.]OHIKHENA, F. U.; WINTOLA, O. A.; AFOLAYAN, A. J. Toxicity assessment of different solvent extracts of the medicinal plant, *Phragmanthera capitata* (Sprenkel) balle on Brine Shrimp (*Artemia salina*). *International Journal of Pharmacology*, v. 12, p. 701-710, 2016.
- [10.] OSBORNE, D, R.; VOOGT, P. The analysis of nutrient in foods. London; New York: Academic Press, vii, 1978. 251 p.
- [11.] PALEGO, L., BETTI, L., ROSSI, A.; GIANNACCINI, G. Tryptophan Biochemistry: Structural, Nutritional, Metabolic, and Medical Aspects in Humans. *Journal of Amino Acids*, 2016, p. 1–13, 2016.
- [12.] PAULO, M. G.; MARQUES, H. M. C.; MORAES, J. A. G.; ALMEIDA, A. J. An isocratic LC method for the simultaneous determination of vitamins A,

- C, E and betacarotene. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, v. 21, n. 2, p. 399–406, 1999.
- [13.] PEREIRA, R. G. F.; SOUZA, M. R. M.; MILGRES, C. S. F.; CAIXETA, G. Z. T. Potencial de comercialização de hortaliças tradicionais em mercados locais na Zona da Mata. *Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. Resumos expandidos*, v. 10, 2013.
- [14.] PERTUZATTI, P. B.; BARCIA, M. T.; RODRIGUES, D.; CRUZ, P. N.; HERMOSÍNGUTIÉRREZ, I.; SMITH, R.; GODOY, H. T. Antioxidant activity of hydrophilic and lipophilic extracts of Brazilian blueberries. *Food Chemistry*, v. 164, p. 81-88, 2014.
- [15.] PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: Specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*, v. 269, n. 2, p. 337–341, 1999.
- [16.] RAMIRES, E. K. N. M.; MENEZES, R. C. E.; LONGO-SILVA, G.; SANTOS, T. G.; MARINHO, P. M.; SILVEIRA, J. A. C. Prevalência e Fatores Associados com a Síndrome Metabólica na População Adulta Brasileira: Pesquisa Nacional de Saúde - 2013. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 110, n. 5, p. 455-466, 2018.
- [17.] RECINE, E.; VASCONCELLOS, A. B. Políticas nacionais e o campo da Alimentação e Nutrição em Saúde Coletiva: cenário atual. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 16, n. 1, p. 73-79, 2011.
- [18.] REHM, S.; ESPIG, G. The cultivated plants of the tropics and subtropics, cultivation, economic value, utilization. Margraf Verlag, Weikersheim, Germany, viii, 1991. 522 p. RIGON, S. A.; SCHMIDT, S. T.; BÓGUS, C. M. Desafios da nutrição no Sistema Único de Saúde para construção da interface entre a saúde e a segurança alimentar e nutricional. *Cadernos de Saúde Pública*, v. 32, n. 3, 2016.
- [19.] ROSYID, T. A.; KARIM, R.; ADZAHAN, N. M.; GHAZALI, F. M. (2011). Antibacterial activity of several Malaysian leaves extracts on the spoilage bacteria of yellow alkaline noodles. *African Journal of Microbiology Research*, v. 5, n. 8, p. 898-904, 2011.
- [20.] SAEEDI, M.; MORTEZA-SEMNANI, K.; MAHDAVI, M. R.; RAHIMI, F. Antimicrobial Studies on Extracts of Four Species of Stachys. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*. v. 70, n. 3, p. 403-406, 2008.
- [21.] SAEEDI, M.; MORTEZA-SEMNANI, K.; MAHDAVI, M. R.; RAHIMI, F. Antimicrobial Studies on Extracts of Four Species of Stachys. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, v. 70, n. 3, p. 403–406, 2008.
- [22.] SHINGNAISUIA, K.; DEY, T.; MANNA, P.; KALITA, J. Therapeutic potentials of *Houttuynia cordata* Thunb. against inflammation and oxidative stress: A review. *Journal of Ethnopharmacology*, v. 220, n. 2018, p. 35-43, 2018.
- [23.] SILVA, F.; GIATTI, L.; DE FIGUEIREDO, R.; MOLINA, M.; DE OLIVEIRA CARDOSO, L.; DUNCAN, B.; BARRETO, S. Consumption of ultra-processed food and obesity: Cross sectional results from the Brazilian Longitudinal Study of Adult Health (ELSA-Brasil) cohort (2008–2010). *Public Health Nutrition*, p. 1-9, 2018.
- [24.] T.R.S.A. Luz et al. Essential oils and their chemical constituents against *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae) larvae *Acta Trop.* (2020)

- [25.] WHITE, J. A.; HART, R. J.; FRY, J. C. An evaluation of the Waters Pico-Tag system for the amino-acid analysis of food materials. *Journal of Automatic Chemistry*, v. 8, n. 4, p. 170–177, 1986.
- [26.] X. Jiang et al. *Environ. Pollut.* (2018)

POTENCIAL FITOTERAPEUTICO DA *CENTELLA ASIATICA* (L.) URBAN (GOTU KOLA) BASEADO NO USO DO AYURVEDA

Alessandra Zacharias Silva*; Daiana Santos de Almeida; Emmanuelle de Siqueira
Leal Capellini

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: donafiaeseusbotoes@gmail.com

Resumo: Ayurveda é um sistema de medicina tradicional indiano, com diversificado uso fitoterápico. *Centella asiatica* é uma espécie de origem indiana, milenarmente usada para fins alimentares e medicinais. Com ampla potencialidade terapêutica, tem destacado uso no rejuvenescimento e na melhoria da memória e cognição.

Palavras-chave: Centella; *Hydrocotyle asiatica* L.; medicina tradicional; Ayurveda; fitoterapia; triterpenos.

Abstract: Ayurveda is a traditional Indian medicine system, with diverse herbal uses. *Centella asiatica* is a species of Indian origin, millennia used for food and medicinal purposes. With wide therapeutic potential, it has highlighted use in rejuvenation and improvement of memory and cognition.

Key Word: Centella; *Hydrocotyle asiatica* L.; traditional medicine; Ayurveda; Phytotherapy; triterpenes.

1. INTRODUÇÃO

O Ayurveda (do Sânscrito, vida (Ayur) e ciência (Veda)) é um sistema de medicina tradicional originário da Índia e do subcontinente indiano, que surgiu e se desenvolveu entre 3000 e 500 a.C., sendo considerado o sistema de saúde integral mais antigo do mundo. A partir do uso de diversas substâncias de origem natural, incluindo minerais e ervas medicinais, a medicina ayurvédica oferece terapias que podem promover e apoiar o equilíbrio em diferentes aspectos da vida (corpo, mente e alma), apresentando uma visão mais holística e personalizada do tratamento do paciente, e sendo estas aplicadas como tratamentos para as mais diversas doenças, como por exemplo alergias, diabetes, doenças autoimunes, doenças neurodegenerativas, entre muitas outras (1,2).

A medicina ayurvédica descreve o uso de diversas espécies de plantas medicinais e suas aplicações para o tratamento de diferentes distúrbios, sendo algumas destas espécies muito conhecidas e utilizadas para retardar o envelhecimento do cérebro e melhorar a memória (3). A *Centella asiatica* (L) Urban representa um importante papel nessa prática milenar, sendo ingrediente de várias formulações de compostos usados no tratamento de distúrbios do sistema nervoso central, da pele e gastrointestinais (4).

Apesar de o consumo desta espécie ser indicado para mais de uma finalidade, diversos estudos têm relatado as promissoras propriedades neuroprotetoras da *Centella asiatica*. Estes resultados, associados aos conhecimentos antigos, possibilitam a descoberta, confirmação e estudo de suas importantes propriedades biológicas, possibilitando uma maior e melhor compreensão dos mecanismos de ação e sua rica composição química (5).

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo apresentar uma breve revisão acerca do potencial terapêutico da *Centella asiatica*, baseada na história da sua utilização dentro do Ayurveda, nas interessantes propriedades bioativas associadas ao seu uso e em sua composição em fitoquímicos e compostos bioativos.

2. TÓPICOS

2.1 - As plantas medicinais e a medicina Ayurvédica

As plantas têm sido usadas como medicamentos desde tempos imemoriais. Muitas delas têm sido utilizadas com sucesso no tratamento de várias doenças. A lista de produtos naturais com valor terapêutico é cada vez maior, e uma infinidade de novos compostos estão sendo isolados diariamente (6). A Índia tem rica herança no uso de plantas medicinais na medicina tradicional, a exemplo da medicina ayurvédica. O Ayurveda remonta ao período da civilização do Vale do Indo (cerca de 3000 a.C.), e foi transmitido por quatro antigos textos indianos (chamados vedas, na linguagem sânscrita), que foram escritos entre os séculos 12 e 7 a.C. O Ayurveda inclui descrições de mais de 5.000 sinais e sintomas de várias doenças, com a utilização de 700 ervas e 6.000 formulações para tratá-las (3).

Segundo Mannangatti e Naidu (7), o Ayurveda é um sistema de saúde abrangente, sendo o mais antigo, e que, atualmente, é uma das medicinas tradicionais mais reconhecidas e amplamente praticadas no mundo. Farooqui *et al.* (3) afirma que a medicina ayurvédica é um sistema de medicina personalizado, pois baseia-se em uma visão holística do tratamento e do paciente, que promove o equilíbrio em diferentes aspectos da vida. Como vantagem, as terapias Ayurvédicas a base de plantas, geralmente proporcionam alívio, sem muitos efeitos adversos, mesmo após administração prolongada.

2.2 - A *Centella asiatica* (L.) Urban

Baseando no seu uso etnomedicinal, a *Centella asiatica* (L.) Urban, apresenta amplo potencial fitoterapêutico (8). Em sânscrito, língua utilizada no sistema de medicina Ayurveda, a espécie é denominada Gotu kola, Mandukarpani ou Brahmi. Segundo Wright *et al.* (9), os usos medicinais da *Centella asiatica* (L.) podem ser verificados desde a documentação inicial do médico indiano Sushruta (1200 a.C). A espécie foi listada nos livros didáticos de Ayurveda por volta de 500 d.C., e foi oficialmente incluída na Farmacopéia Indiana no século 19, sendo recomendada para o tratamento de cicatrização de feridas, doenças da pele, hanseníase, lúpus, úlceras varicosas, eczema, psoríase, diarreia, febre, amenorréia e doenças do trato geniturinário feminino (3).

Uma das utilizações clássicas da *Centella asiatica* (L.) Urban no Ayurveda é nas terapias Rasayana. Segundo Joshi e Bedekar (10), Rasayana significa terapia de rejuvenescimento, e é um dos oito principais ramos do Ayurveda. As drogas e formulações Rasayana fornecem longevidade, memória, inteligência, alívio de doenças, jovialidade e força ideal do corpo e dos órgãos dos sentidos. Para Wright *et al.* (9), a *Centella asiatica* (L.) Urban tem particular relevância como uma erva “medhya-rasayana” (ou seja, que tem efeitos rejuvenescedores, aumenta a memória, previne déficits cognitivos e melhora a função

cerebral). Para Bisht *et al.* (6) essa espécie é uma das principais ervas para revitalizar os nervos e as células cerebrais.

O uso de plantas na medicina tradicional também contribui no despertar para novas pesquisas e possíveis produtos para fitoterapia. A *Centella asiatica* (L.) Urban trata-se de uma Angiosperma da ordem *Apiales* Nakai, família *Apiaceae* Lindl., e do gênero *Centella* L., e tem como sinônimo botânico *Hydrocotyle asiatica* (11).

Segundo a classificação do WFO (11) a *Centella asiatica* cresce como um rizoma herbáceo de até 50 cm de altura, com caule atingindo 25 cm de comprimento. As folhas são simples, longas pecioladas; com lâmina reniforme a orbicular e base cordiforme. Estão dispostas alternadamente em cachos basais, com margem inteira a dentada e ápice foliar arredondado. As flores incompletas, perfeitas e actinomórficas, estão dispostas em poucas umbelas floridas, sem cálice. A corola tem cinco pétalas brancas avermelhadas não fundidas. Existem cinco estames não fundidos (Figura 1). O ovário inferior tem dois lóculos cada, com uma semente. A fruta é uma sâmara marrom achatada e sulcada.

É uma espécie terrícola, e tem como preferência zonas húmidas como habitat, mas também, ocupa gramados e clareiras de florestas e campos mais secos (11). É nativa da Índia, e tem ampla distribuição geográfica, que, segundo Sabaragamuwa *et al.* (12), habita países de clima quente em regiões tropicais e subtropicais, como Índia, Sri Lanka, Bangladesh, Indonésia, Malásia, China, Irã, Nova Guiné, norte da Austrália e algumas partes da África e Américas.



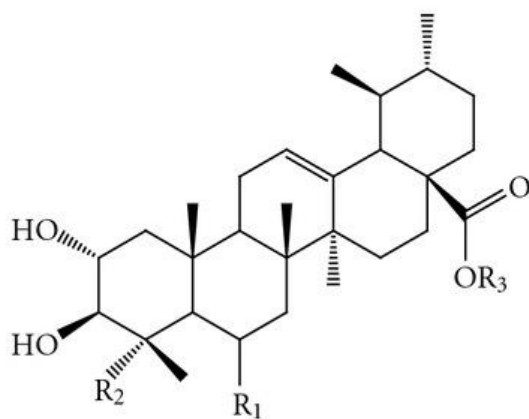
Figura 1. Morfologia da *Centella asiatica* (L.) Urban. (Retirado de Sabaragamuwa *et al.* (12))

2.3 - Composição fitoquímica, compostos bioativos e potencial fitoterápico

Segundo Vanaclocha e Cañigüeral (13), a droga vegetal é a parte aérea da planta. No Ayurveda utiliza-se a planta inteira, incluindo as raízes. Sabaragamuwa *et al.* (12) mencionam que a *Centella asiatica* (L.) Urban contém mais de 70 compostos fitoquímicos, que incluem terpenos (monoterpenos, sesquiterpenos, diterpenos, triterpenos, tetraterpenos), compostos fenólicos (flavonóides, taninos), alcalóides, carboidratos, vitaminas, minerais e aminoácidos. Farooqui *et al.* (3) afirmam que seus principais ingredientes ativos são saponinas (triterpenóides). Segundo Torbati *et al.* (14), foram isolados e identificados aproximadamente 124 compostos químicos, incluindo triterpenóides, compostos polifenólicos e óleos essenciais.

Lawal *et al.* (15) mencionam a que a *Centella asiatica* é rica em triterpenóides pentacíclicos principalmente saponinas e suas agliconas, que são supostamente responsáveis por seu efeito benéfico na cognição e humor. As saponinas triterpenóides são metabólitos secundários de plantas que consistem em uma estrutura de triterpenos hidrofóbicos (aglicona) ligada a uma cadeia de açúcar hidrofílica (glicona) e são sintetizados através do isoprenóide. Esses triterpenóides pentacíclicos são asiaticosídeos e madecassosídeos, além de suas agliconas, ácidos asiáticos e ácidos madecássicos (Figura 2).

O ácido asiático é um dos principais derivados de triterpeno da *Centella asiatica*. O ácido asiático pode ser mediado até certo ponto pela diminuição da permeabilidade da barreira hematoencefálica (16). Segundo Sabaragamuwa *et al.* (12), o Gotu Kola tem propriedades antioxidantes que atenuam o estresse oxidativo, com alto poder anti-inflamatório, capacidade regenerativa e tem potencial para prevenção de danos neuronais. Também possui efeito de inibição de neurotoxicidade, com propriedades antiansiedade e antidepressivas, além da capacidade de revitalizar nervos e células cerebrais.



	R ₁	R ₂	R ₃
Asiatic acid	H	CH ₂ OH	H
Madecassic acid	OH	CH ₂ OH	H
Madasiatic acid	OH	CH ₃	H
Asiaticoside	H	CH ₂ OH	Glucose-glucose-rhamnose
Madecassoside	OH	CH ₂ OH	Glucose-glucose-rhamnose

Figura 2. Principais derivados de saponosídeo triterpeno. (Retirado Orhan *et al.* (16)).

A *Centella asiatica* é especialmente reconhecida por seu uso tradicional como intensificador de memória (16), sendo que estudos farmacológicos revelam uma gama de efeitos benéficos no sistema nervoso central, cardiovascular, pulmonar, hepático, renal, gastrointestinal, cutâneo e endócrino. Dentre elas, destaca-se amplos relatos de atividade neuroprotetora, cicatrização de feridas e tratamento de insuficiência venosa, bem como atividade antidiabética (14).

É amplamente utilizado como purificador do sangue e para pressão alta, atua na melhoria da memória e promove a longevidade. O chá feito de Gotu Kola pode ser muito útil para aliviar a tensão, relaxar a mente e aliviar a ansiedade. Como um adaptógeno nervino, os constituintes da *Centella asiatica* são capazes de aumentar a longevidade e a memória. No sistema de medicina Ayurvédica, os extratos aquosos da planta são usados para rejuvenescer e restaurar as células neurais, e para estimular o sono saudável. Possui efeito na qualidade de vida e em distúrbios como a epilepsia (14).

3. METODOLOGIA

O presente trabalho de revisão bibliográfica baseou-se em buscas em bases de dados PubMed e no buscador Google Scholar, além de consultas a livros e documentos físicos disponíveis na internet. A busca foi realizada utilizando os termos *Centella asiatica* e Gotu Kola. Não foram realizados filtros. Foram também, utilizados artigos científicos e capítulos de livro.

4. RESULTADOS

Os resultados da presente pesquisa indicam que há vasta produção científica sobre a *Centella asiatica*, o que é refletido no alto número de publicações resultantes (acima de 1000 resultados) das buscas pelos termos escolhidos. Observa-se que a espécie constitui trabalhos científicos em diversas áreas do conhecimento, desde a etnofarmacologia, aspectos botânicos e ecológicos, bem como há ampla literatura sobre utilização da espécie em diversas áreas da medicina, com destaque em pesquisas relacionadas ao seu potencial neuroprotetor.

Este fato indica que a planta, além de ser bastante estudada, também apresenta resultados promissores para utilização na medicina fitoterápica, na elaboração de novos produtos à base de plantas e, novas bioaplicações destinadas à saúde humana, preventiva e curativa (Figura 3).

Segundo Joshi e Bedekar (10), por cerca de 5.000 anos, a sabedoria do Ayurveda forneceu diretrizes para retardar o processo de envelhecimento, assim, a partir da presente pesquisa, percebemos potencialidades da espécie estudada. Sabaragamuwa *et al.* (12) manifestam a evidência do efeito neuroprotetor da *Centella asiatica* e ainda define: “um neuroprotetor inclui frases-chave importantes, como prevenção da morte neuronal pela inibição de uma ou mais das etapas fisiopatológicas no processo pós dano ao sistema nervoso, proteção contra neurodegeneração e neurotoxinas, intervenções para retardar ou interromper a progressão da degeneração neural.”

Evidências de pesquisa enfatizam a natureza multifacetada da erva como um potencial agente neuroprotetor, também, como potencial fitofármaco, pois exhibe neuroproteção abrangente, por meio de vários efeitos, como redução do estresse oxidativo.

Segundo Chandrika e Kumara (17), no Gotu Kola são encontrados os compostos polifenólicos, principalmente, flavonóides, beta-carotenos, taninos e vitamina C. A atividade de eliminação de radicais DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl), demonstrou significativa

atividade antioxidante. Os autores destacam que o potencial antioxidante na *Centella* (84%) é comparável ao da vitamina C (88%) e do extrato de semente de uva (83%).

Orhan (16) atribui o efeito sedativo da *Centella asiatica* principalmente ao brahmoside e brahminoside, os derivados triterpenos, enquanto a atividade ansiolítica foi sugerida como sendo, parcialmente, resultante da interação com os receptores de colecistocinina, um grupo de receptores acoplados à proteína G, considerados potenciais na modulação da ansiedade, nocicepção e memória.

A nível molecular, os derivados de asiaticosídeos (ácido asiático e asiaticosídeos) da *Centella asiatica* são capazes de reduzir a morte celular induzida por peróxido de hidrogênio, diminuir os níveis de radicais livres e inibir a morte celular neural *in vitro*. Possuem atividade antioxidante e podem alterar a função mitocondrial. Como a disfunção mitocondrial é um processo comum que contribui em muitas doenças neurodegenerativas, existem implicações potencialmente amplas para o uso de extratos aquosos de Gotu Kola para prevenção e tratamento dessas doenças (3).

Sun *et al.* (8) mencionam, também, o potencial redutor de fatores inflamatórios, equilibrando o estresse oxidativo, reparando a expressão anormal de proteínas relacionadas às mitocôndrias e, reduzindo a apoptose de células nervosas relacionadas, aumentando a densidade sináptica, melhorando a taxa de sobrevivência das células neurais.

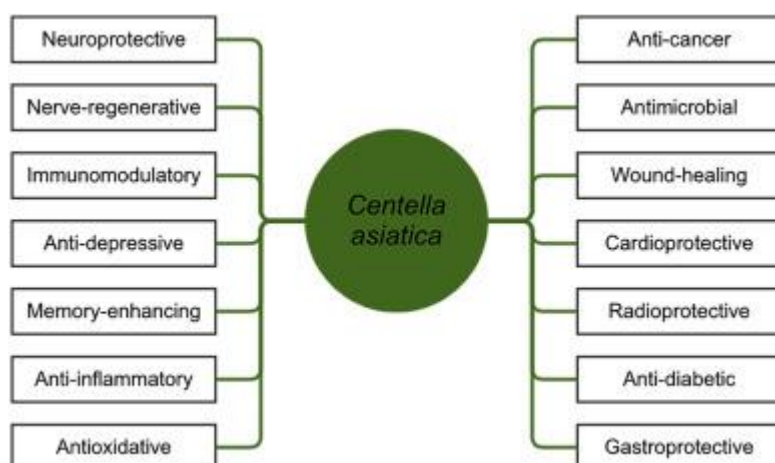


Figura. 3 . Propriedades farmacológicas da *Centella asiatica* (L.) Urban (retirado de Sabaragamuwa *et al.* (12))

Outro uso muito mencionado na medicina Ayurveda e no uso tradicional é seu uso para tratamentos de pele. Segundo Sun *et al.* (8), os triterpenos da espécie têm baixa taxa de absorção transdérmica, mas mesmo assim, experimentos *in vitro* e *in vivo* indicam que estes podem promover a cicatrização de feridas e reduzir doenças inflamatórias da pele. Os autores também apontam efeito sobre o vitiligo e a calvície. Isso se dá principalmente pelo seu potencial anti-inflamatório, antioxidante e de proteção mitocondrial contra o estresse oxidativo, o que foi consistente com a patogênese dessas doenças.

Sun *et al.* (8) indicam efeitos promissores da *Centella asiatica* e seus componentes relacionados (ácido asiático, madecassoside) para o tratamento de doenças endócrinas, como diabetes, obesidade e osteoporose. A planta é descrita, também, como tendo potencial uso no tratamento de doenças vasculares. Em pacientes com varizes, após a utilização do extrato da planta (60 mg/dia por três meses), os níveis basais de ácidos urônicos foram elevados, indicando aumento da renovação de mucopolissacarídeos.

Neste mesmo sentido, foram estudados os efeitos da fração triterpênica total de *Centella asiática* sobre os níveis séricos de ácidos urônicos e enzimas lisossômicas envolvidas no metabolismo de mucopolissacarídeos (beta-glicuronidase, beta-N-acetilglucosaminidase, arilsulfatase), onde observou-se redução progressiva e significativa nos níveis dos compostos analisados. Os resultados deste estudo fornecem uma confirmação indireta dos efeitos regulatórios do extrato de *Centella asiática* no metabolismo do tecido conjuntivo da parede vascular (18).

Os triterpenóides da espécie também têm efeitos terapêuticos em distúrbios digestivos. Segundo Sun *et al.* (8), estes efeitos foram observados na melhora da fibrose hepática, colite e dano da mucosa gástrica, e redução da colonização gástrica por *Helicobacter pylori*. Sun *et al.* (8) também mostraram que os componentes eficazes da *Centella asiática* nas doenças respiratórias foram devido ao ácido asiático e o asiaticoside, sendo utilizado como mecanismo anti-inflamatório.

Além disso, há potencial efeito terapêutico do ácido asiático no câncer de pulmão, por possíveis mecanismos de promoção da apoptose e inibição da diferenciação de células tumorais, assim como em câncer de ovário e de mama. Por fim, Sun *et al.* (8), mencionam possíveis usos potenciais da *Centella asiática* como protetora dos vasos sanguíneos oculares, com redução dos efeitos colaterais aos medicamentos alopáticos, promovendo alívio da fibrose e regeneração periodontal, sepse, enxaqueca, leucemia e doenças ósseas osteolíticas.

5. CONCLUSÃO

A *Centella asiática* (L.) Urban é uma espécie botânica de rica possibilidade fitoterapêutica, de ampla distribuição geográfica e de fácil cultivo, o que a torna acessível e viável para ser utilizada em pesquisas. A validação científica das suas potencialidades descritas pelo Ayurveda é essencial para aceitação global dessa medicina tradicional. A pesquisa da espécie também contribui para melhor utilização e aprimoramento das formulações clássicas.

Mesmo após as validações científicas do seu uso, novas pesquisas devem ser feitas para descrever novos compostos, assim como para descobrir novas aplicações farmacológicas. Mais estudos clínicos também são necessários para validar os conhecimentos da medicina tradicional, pois estudos indicam que essa “erva superpotente” ainda tem muitas possibilidades de ação a serem descobertas.

6. REFERÊNCIAS

1. Subhose V, Srinivas P, Narayana A. Basic principles of pharmaceutical science in Ayurvēda. Bull Indian Inst Hist Med Hyderabad. 2005;35(2):83–92.
2. Chopra A, Doiphode VV. Ayurvedic medicine: core concept, therapeutic principles, and current relevance. Medical Clinics of North America. janeiro de 2002;86(1):75–89.
3. Farooqui AA, Farooqui T, Madan A, Ong JHJ, Ong WY. Ayurvedic Medicine for the Treatment of Dementia: Mechanistic Aspects. Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2018;2018:1–11.






4. Arora D, Kumar M, Dubey SD. <I>Centella asiatica</I> - A Review of it's Medicinal Uses and Pharmacological Effects. *Journal of Natural Remedies*. 1º de junho de 2002;143–9.
5. Lokanathan Y, Omar N, Ahmad Puzi NN, Saim A, Hj Idrus R. Recent Updates in Neuroprotective and Neuroregenerative Potential of *Centella asiatica*. *Malays J Med Sci*. janeiro de 2016;23(1):4–14.
6. Bisht D, Owais M, Venkatesan K. Potential of Plant-Derived Products in the Treatment of Mycobacterial Infections. Em: Ahmad I, Aqil F, Owais M, organizadores. *Modern Phytomedicine* [Internet]. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA; 2006 [citado 14 de janeiro de 2023]. p. 293–311. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9783527609987.ch14>
7. Mannangatti P, Naidu KN. Indian Herbs for the Treatment of Neurodegenerative Disease. Em: Essa MM, Akbar M, Guillemin G, organizadores. *The Benefits of Natural Products for Neurodegenerative Diseases* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2016 [citado 14 de janeiro de 2023]. p. 323–36. (*Advances in Neurobiology*; vol. 12). Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-28383-8_17
8. Sun B, Wu L, Wu Y, Zhang C, Qin L, Hayashi M, et al. Therapeutic Potential of *Centella asiatica* and Its Triterpenes: A Review. *Front Pharmacol*. 4 de setembro de 2020;11:568032.
9. Wright KM, McFerrin J, Alcázar Magaña A, Roberts J, Caruso M, Kretzschmar D, et al. Developing a Rational, Optimized Product of *Centella asiatica* for Examination in Clinical Trials: Real World Challenges. *Front Nutr*. 14 de janeiro de 2022;8:799137.
10. Joshi N, Bedekar SS. Concept of Rasayana for a Better Health - A Review. *JAIMS* [Internet]. 1º de março de 2017 [citado 14 de janeiro de 2023];2(1). Disponível em: <http://www.myresearchjournals.com/index.php/JAIMS/article/view/7512>
11. WFO. *Centella asiatica* (L.) Urb [Internet]. 2022 [citado 20 de dezembro de 2022]. Disponível em: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000594096>
12. Sabaragamuwa R, Perera CO, Fedrizzi B. *Centella asiatica* (Gotu kola) as a neuroprotectant and its potential role in healthy ageing. *Trends in Food Science & Technology*. 1º de setembro de 2018;79:88–97.
13. Vanaclocha B, Cañigueral S, organizadores. *Fitoterapia: Vademécum de prescripción*. 5a ed. Barcelona, España: Elsevier; 2019.
14. Torbati FA, Ramezani M, Dehghan R, Amiri MS, Moghadam AT, Shakour N, et al. Ethnobotany, Phytochemistry and Pharmacological Features of *Centella asiatica*: A Comprehensive Review. Em: Barreto GE, Sahebkar A, organizadores. *Pharmacological Properties of Plant-Derived Natural Products and Implications for Human Health* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2021 [citado 14 de janeiro de 2023]. p. 451–99. (*Advances in Experimental Medicine and Biology*; vol. 1308). Disponível em: https://link.springer.com/10.1007/978-3-030-64872-5_25

15. Lawal OM, Wakel F, Dekker M. Consumption of fresh *Centella asiatica* improves short term alertness and contentedness in healthy females. *Journal of Functional Foods*. 1º de fevereiro de 2021;77:104337.
16. Orhan IE. *Centella asiatica* (L.) Urban: From Traditional Medicine to Modern Medicine with Neuroprotective Potential. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2012;2012:1–8.
17. Chandrika UG, Kumara PAASP. Chapter Four - Gotu Kola (*Centella asiatica*): Nutritional Properties and Plausible Health Benefits. Em: Henry J, organizador. *Advances in Food and Nutrition Research* [Internet]. Academic Press; 2015 [citado 14 de janeiro de 2023]. p. 125–57. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S104345261500056X>
18. Arpaia MR, Ferrone R, Amitrano M, Nappo C, Leonardo G, del Guercio R. Effects of *Centella asiatica* extract on mucopolysaccharide metabolism in subjects with varicose veins. *Int J Clin Pharmacol Res*. 1990;10(4):229–33.

Capítulo 24

Doi.org/10.53934/9786599965814-24

ANÁLISE FITOQUÍMICA DO MANJERICÃO (*Ocimum basilicum*): UMA REVISÃO DE LITERATURA.

Victor Emmanuel Pereira da Silva *; Marcio Michael Pontes ; Vinicius de Araujo Oliveira ; Paloma Andrade Santos Araújo ; Alessandro Melquiades de Góis ; Rosângela Estevão Alves Falcão 

* Victor Emmanuel Pereira da Silva – *Email: victor.emmanuel@upe.br*

Resumo: As plantas são comumente utilizadas na medicina popular, em comunidades do agreste de Pernambuco, muitas pessoas fazem o uso destes recursos com fins terapêuticos, este hábito representa a da cultura das comunidades que ao longo dos anos é passado de maneira hereditária entre moradores destas localidades. Dentre as espécies utilizadas pode se destacar o manjericão (*Ocimum basilicum*) bastante utilizado tanto na culinária quanto na farmacologia, sua composição rica em vitaminas, óleos essenciais, e compostos secundários demonstram sua vasta aplicabilidade. Segundo estudos a planta pode ser utilizada como descongestionante, antisséptico, inseticidas e entre outros. Neste contexto, o trabalho visa analisar a composição fitoquímica do manjericão, associado a exames laboratoriais que visam investigar o potencial da planta frente a patógenos.

Palavras-chave: Manjericão; *Ocimum basilicum*; farmacologia; compostos naturais

Abstract: Plants are often used in popular medicine in communities from the southern wild of Pernambuco. Many people consume those resources with therapeutic purposes, an habit that represents the communities culture, which are passed by generation to generation in the region. Between the used species, a special attention can be given to the basil (*Ocimum basilicum*), often used in culinary and pharmacology. Its composition is rich in vitamins, essential oils and secondary compounds, showing its wide range of applicability. According to studies, this plant can be used as a decongestant, antiseptic, insecticide, etc. In this context, the work produced aims to analyze the phytochemical composition of the basil, linked to laboratory exams that aim to investigate the plant's potential when it comes to pathogens.

Key Word: Basil; *Ocimum basilicum*; pharmacology; natural compounds

INTRODUÇÃO

A utilização de plantas medicinais é um costume que está inserido na cultura da humanidade, ao longo da história da humanidade várias plantas foram utilizadas no tratamento de diversas doenças, assim como febre, gripe, dores de cabeça e entre outras. Difundido principalmente por comunidades de zona rural, a utilização de plantas medicinais representa a grande variedade de recursos naturais com potencial farmacológico disponível no mundo, em especial no Brasil várias espécie de plantas apresentam capacidade fitoquímica, nesta perspectiva as plantas representam um vasto

arsenal de compostos químicos que podem ser utilizados com fins terapêuticos pelo ser humano (PEDROSA, 2021).

Os compostos naturais representam uma alternativa mais acessível para comunidades mais carentes, além de ser uma alternativa que reduz a utilização de fármacos sintéticos, visto a grande inserção desses medicamentos pela população. (GALVÃO 2019). A composição fitoquímica e caracterização dos compostos presentes nas plantas é dado através de estudos etnofarmacológicos, que associam o conhecimento empírico de comunidades atrelado a estudos farmacológicos em laboratório que identificam e analisam os compostos, identificando possíveis fitoterápicos. (SILVA 2020).

Dentre as espécies utilizadas no Brasil pode-se destacar o manjeriço (*Ocimum basilicum*), pertencente à família *Lamiaceae*, o manjeriço é uma planta originária da Ásia tropical, produtora de óleos essenciais, utilizada com diversas finalidades como antisséptico, descongestionante, digestivo vermífugo, na culinária, na produção de fármacos, bebidas, inseticidas, repelentes e na conservação de grãos. (DO CARMO 2019 apud VLASE et al. 2014)

Neste contexto, o presente trabalho visa analisar a vasta aplicabilidade do Manjeriço (*Ocimum basilicum*), com enfoque para atividades farmacológicas da espécie, investigando na literatura as mais diversas utilidades dos compostos secundários encontrados na planta, realizando um levantamento em bases de dados digitais, e comparando os resultados obtidos.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o trabalho foi desenvolvida a partir de uma revisão bibliográfica, baseada em artigos publicados sobre as propriedades químicas de compostos secundários do manjeriço (*Ocimum basilicum*), suas atividades biológicas e a descrição botânica da planta. A pesquisa foi realizada na base de dados do portal periódico da CAPES, utilizando operadores booleanos como AND, OR e NOT. contendo as palavras chaves *Ocimum basilicum* e manjeriço. Foram selecionados apenas artigos no intervalo de tempo de 2012 a 2022.

Tabela 1: detalhamento dos artigos selecionados para a revisão bibliográfica

Número de identificação o no texto	Autor(es), revista e ano de publicação	Áreas que o artigo abrangeu	
1	ALVES, L.S. <i>et al.</i> , Revista brasileira de plantas medicinais, 2015.	2	Freire, I.C.M. <i>et al.</i> , Revista brasileira de

plantas 2014

Aspectos botânicos

Aspectos botânicos e atividades
biológicas

- 3 Veloso, R.A. *et al.*, Revistas brasileiras de plantas medicinais, 2014. Caracterização fitoquímica
- 4 Ferreira D. de *et al.*, Ciência Rural, 2017. Caracterização fitoquímica
- 5 Majdi C. *et al.*, Antioxidants, 2020. Caracterização fitoquímica e atividades biológicas
- 6 Osei Akoto C. *et al.*, Journal of Chemistry, 2020. Caracterização fitoquímica e atividades biológicas
- 7 Nadeem, H.R. *et al.*, Pakistan. Foods, 2020. Caracterização fitoquímica e atividades biológicas
- 8 Chenni M, *et al.*, Molecules, 2016. Caracterização fitoquímica e atividades biológicas
- 9 Romano R, *et al.*, Foods, 2022. Caracterização fitoquímica
- 10 Ahmed, A.F. *et al.*, Food Science and Human Wellness, 2019. Caracterização fitoquímica
- 11 PITARO, S.P.; FIORANI, L.V.; JORGE, N., Revista brasileira de plantas medicinais, 2012. Atividades biológicas
- 12 Magara G, *et al.*, Antioxidants, 2022. Atividades biológicas

DESCRIÇÃO BOTÂNICA

O Manjeriço (*Ocimum basilicum*) pertencente à família Lamiaceae, segundo (ALVES, 2015)(1), é uma planta originária da Ásia tropical e foi introduzida no Brasil pela colônia italiana, que caracteriza-se com um subarbusto anual ereto e ramificado, contendo entre 30 - 35 cm de altura. (figura 1)

Figura 1: foto do manjeriço cultivado em vaso (planta mania, 2010)



O manjeriço é uma planta medicinal muito famosa devido a sua composição química de óleos essenciais, muito usada na medicina popular. Tornou-se importante na sociedade por apresentar atividades biológicas, além de ser famosa na culinária e por ser uma planta aromática. (Costa et al., 2009 apud Freire, 2014)(2).

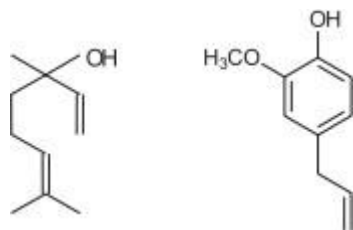
COMPOSTOS ESPECIALIZADOS

O estudo dos compostos especializados é importante para entender as propriedades bioativas conhecidas da planta e investigar possíveis novos potenciais a partir do resultado da caracterização e isolamento de substâncias químicas da planta.

(Velo et al. 2014)(3) identificou dois constituintes majoritários presentes em óleos essenciais de amostras, foram eles: Monoterpenos (linalol) majoritário em cultivares e fenilpropanoide ((E)-cinamato de metila), majoritários em nas cultivares silvestres. Outros compostos encontrados foram os sesquiterpenos E-cariofileno e α -bergamoteno, o monoterpeno 1,8-cineol e o sesquiterpeno oxigenado estragol.

Segundo (Ferreira, et al. 2017)(4) Em sua pesquisa com introdução de oxigênio para extração de óleo do manjeriço, no qual obteve um melhor aproveitamento. Foram encontrados monoterpenos e sesquiterpenos em seu óleo essencial, com destaque para o linalol (1) e eugenol (2) (figura 2), que tiveram um aumento de 3,34% em relação à extração sem oxigênio.

Figura 2: Estrutura do linalol e eugenol respectivamente (Silva et al, 2003. Gazolla et al, 2018)



(1) linalol

(2) eugenol

Majdi et al (2020)(5) realizou uma caracterização fitoquímica de *Ocimum basilicum* através de cromatografias líquida e gasosa. Encontrou sete ácidos cafeicos e derivados (dímeros, trímeros e tetrâmeros), ácido rosmarínico e cinco flavonoides,

principalmente derivados glicosídicos de quercetina. O ácido rosmarínico foi o composto fenólico majoritário enquanto o linalol foi o composto volátil predominante.

Akoto et al (2020)(6) Fez a caracterização fitoquímica dos extratos etanólico e hexânico e também de uma amostra pulverizada do pó dos frutos de *Ocimum basilicum*, encontrou a presença de diterpenos, flavonóides, glicosídeos, fenóis, saponinas, esteróides, taninos e terpenóides em todas as 3 análises, e encontrou alcalóides na amostra pulverizada e no extrato etanólico.

Nadeem et al (2022)(7) analisou a composição fitoquímica dos extratos aquoso, etanólico, hexânico e diclorometano. Observou a presença de alcalóides, flavonóides, fenóis, taninos, esteróides e glicosídeos no extrato aquoso. No extrato etanólico obteve saponinas, taninos, fenóis, flavonóides e esteróides. No extrato hexânico observou a presença de Flavonóides fenóis, esteróides, Saponinas, Taninos, Terpenóides e glicosídeos. No extrato diclorometano observou flavonóides, fenóis, esteróides, taninos e glicosídeos.

Chenni et al (2016)(8) comparou a extração por micro-ondas sem solvente (SFME) e hidrodestilação convencional (HD) para a extração de óleos essenciais de *Ocimum basilicum*. Ambos os óleos essenciais apresentaram 65 compostos e tiveram como componentes majoritários linalol (43.5% SFME; 48.4% HD), metil chavicol (13.3% SFME, 14.3% HD) e 1,8 cineol (6.8% SFME; 7.3% HD). Sendo assim os principais componentes dos óleos foram monoterpênicos e fenilpropanóides (figura 3).

Romano et al (2022)(9) avaliou a quantidade de ácidos fenólicos e compostos voláteis de extratos das folhas de duas variedades de *Ocimum basilicum* a variedade italiana clássica e a genovesa, obtidos por meio do método de extração, utilizando CO₂ supercrítico+10% de etanol e outro controle usando etanol 100%. Os extratos controle apresentaram maior quantidade de ácidos fenólicos em comparação com o extrato de CO₂ supercrítico, e a variedade genovesa teve maior conteúdo total de fenólicos que a italiana clássica. Os principais compostos voláteis encontrados foram da classe dos terpenos, principalmente monoterpênicos e sesquiterpenos. Sendo os seguintes encontrados em maior quantidade: linalol, eugenol, trans- α -bergamotene e eucaliptol para ambos os extratos. A variante italiana teve maiores valores de linalol e menores valores de eugenol, enquanto a variante genovesa teve valores um pouco menores de linalol e maiores de eugenol comparado à variedade Italiana clássica. O autor indica uma relação

inversamente proporcional entre o eugenol e o linalol.

Figura 3: estrutura básica dos fenilpropanóides e isopreno (molécula básica dos terpenóides) respectivamente. (Cunha, 2018. Felipe, Bicas, 2016)



Ahmed (2019)(10) investigou a composição química de três tipos de manjeriço testados em locais diferentes do Egito. Assiut, Minia e BeniSuef. A análise com o método de GC-MS do óleo essencial do manjeriço Assiut, encontrou 33 compostos diferente no total (93,75%) sendo majoritário: linalol (31,65%), estragol (17,37%), cinamato de metila (15,14%), biciclo sesquifelandreno (6,01%), eucalipto (4,04%), α -bergamoteno (3,94%), eugenol (3,59%), γ -cadineno (2,42%) e germacreno D(1,56%). 31 composto encontrados do manjeriço da Minia, representando 93,20% do óleo total. Compostos majoritários: Linalol (28,18%), estragol (16,97%), cinamato de metila (13,39%), eugenol (7,33%), biciclo sesquifelandreno (6,83%), eucaliptol (4,73%), α -bergamoteno (4,20%), γ -cadineno (2,64%) e germacreno D (2,41%). 34 Composto de óleo essencial para o manjeriço BeniSuef, representando 97,27%. Compostos majoritários: foram linalol (27,64%), estragol (15,96%), cinamato de metila (10,48%), biciclo sesquifelandreno (7,01%), eucaliptol (5,48%), α -bergamoteno (4,52%), γ -cadineno (3,26%), eugenol (2,78%) e germacreno D (2,37%). concluindo que houve uma variação nos três tipos.

Tabela 2: compostos especializados encontrados em *O. basilicum*

Número de identificação do trabalho

Compostos especializados encontrados

3	Monoterpenos (linalol) e fenilpropanóides (E-cinamato de metila) e Sesquiterpenos (estragol)
4	Monoterpenos, sesquiterpenos
5	Ácidos cafeicos, ácido rosmarínico, flavonoides. Composto volátil predominante: linalol
6	Diterpenos, flavonóides, glicosídeos, fenóis, saponinas, taninos, terpenóides, alcalóides
7	Alcalóides, flavonóides, fenóis, taninos, esteróides, glicosídeos, saponinas
8	Monoterpenos e fenilpropanóides
9	Ácidos fenólicos, monoterpenos e sesquiterpenos
10	Monoterpenos, sesquiterpenos e fenilpropanóides

O. basilicum se mostra como uma rica fonte de ácidos fenólicos, fenilpropanóides, flavonóides, monoterpenos, sesquiterpenos. Com os compostos voláteis mais abundantes sendo o linalol, eugenol e estragol. Pesquisas mais aprofundadas se fazem necessárias para o isolamento e estudo mais focal desses compostos.

ATIVIDADES BIOLÓGICAS

Pitaro et al (2012)(11) identificou o potencial antioxidante de extratos etanólicos e aquosos de manjeriço (*Ocimum basilicum*), em óleo de soja, e identificou que proporcionou maior estabilidade oxidativa, quando aplicados em óleo de soja na concentração de 2.000 mg kg⁻¹

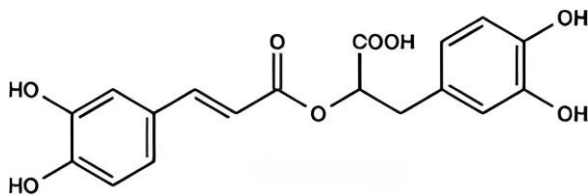
Segundo Freire (2014)(2) o óleo essencial de *Ocimum basilicum* não teve ação bactericida contra *Streptococcus mutans*, mas teve contra *Staphylococcus aureus*, com concentração bactericida mínima de 36 mg/mL.

Magara et al (2022)(12) estudou a variação de biomarcadores de estresse oxidativo em trutas arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) de criatório, a partir da suplementação alimentar da ração comercial das trutas com resíduos da extração de óleos essenciais ou fluidos supercríticos de *Ocimum basilicum*. O trabalho chegou à conclusão de que a suplementação máxima recomendada é a de 0,5%, onde apresentou redução de biomarcadores de estresse oxidativo. Concentrações maiores que essas são perigosas para os peixes pois podem prejudicar a função de enzimas.

Majdi et al (2020) (5) analisou em seu trabalho o potencial bioativo e do extrato hidroetanólico de *Ocimum basilicum* como antioxidante, antimicrobiano, citotóxico e anti-inflamatório. Além do extrato hidroetanólico, também foi avaliado o potencial antioxidante da infusão (extrato aquoso) de *O. basilicum* usando os testes de inibição de substâncias reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBARS) e o ensaio de inibição da hemólise oxidativa (OxHLIA). *O. basilicum* mostrou melhor atividade antioxidante na inibição de TBARS quando comparados com o antioxidante sintético Trolox em ambos os extratos. A infusão apresentou valores inibitórios mínimos menores que o extrato hidroetanólico para esse teste, ($8.9 \pm 0.4 \mu\text{g/mL}$) enquanto o extrato apresentou ($23.8 \pm 0.8 \mu\text{g/mL}$), o Trolox apresentou ($139 \pm 5 \mu\text{g/mL}$). Esse melhor desempenho da infusão se repete no teste de OxHLIA, atrasando mais a hemólise dos eritrócitos do que o extrato e em concentrações menores (27.6 ± 0.9) enquanto o extrato teve 48 ± 2 . Ambos foram melhores que o Trolox ($85 \pm \mu\text{g/mL}$). Esse estudo revela o alto potencial antioxidante da infusão de *O. basilicum*.

O potencial antimicrobiano de *Ocimum basilicum*, foi avaliado frente às bactérias Gram-negativas *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Morganella morganii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Proteus mirabilis*, e Gram-positivas *Staphylococcus aureus* resistente à meticilina (MRSA), *Listeria monocytogenes*, *Enterococcus faecali*. o extrato hidroetanólico e o extrato aquoso apresentaram atividades bacteriostática mas não bactericida, ou seja apenas inibiu o crescimento das cepas bacterianas testadas mas não as matou. A exceção foi *P. mirabilis* cujo crescimento não foi inibido. O autor associa esse potencial à presença de ácido rosmarínico como um dos compostos majoritários no extrato (figura 4).

Figura 4: Estrutura molecular do ácido rosmarínico. (Ferreira et al, 2013)



Ocimum basilicum mostrou citotoxicidade de 50% ou mais de inibição da proliferação frente a 3 das 5 variedades de células tumorais com

concentrações variando entre $273 \pm 14 \mu\text{g/mL}$ a $322 \pm 6 \mu\text{g/mL}$. Não apresentou atividade anti-inflamatória.

Akoto et al (6) (2020) avaliou as atividades antioxidante, anti-helmíntica e anti-inflamatória dos extratos etanólico e hexânico de *O. basilicum*. Ambos os extratos apresentaram atividade antihelmíntica dependente da concentração, quanto maior a concentração, maior a atividade antihelmíntica, foram avaliadas concentrações entre 250 e 5000 $\mu\text{g/mL}$. Os testes indicaram que os extratos foram mais eficazes do que o medicamento antihelmíntico Mebendazol em todas as concentrações testadas. O extrato etanólico teve melhor desempenho que o hexânico, possivelmente pela presença de alcalóides que estão ausentes no extrato hexânico. A atividade anti-inflamatória foi testada pela capacidade dos extratos de prevenir a desnaturação da albumina, ambos os extratos mostraram atividade anti-inflamatória dependente da concentração. As concentrações testadas foram entre 1000 e 5000 $\mu\text{g/mL}$. Os resultados se mostraram significativamente melhores do que os do fármaco de referência (aspirina). Ambos os extratos mostraram capacidades antioxidantes nos testes de DPPH (Radical Scavenging Capacity) e de Ensaio de eliminação de radicais de peróxido de hidrogênio.

Nadeem et al (2022)(7) avaliou a citotoxicidade do extrato aquoso de *O. basilicum*. A citotoxicidade foi avaliada utilizando artêmias (*Artemia salina*) em três estágios de desenvolvimento (Growth stage-GS), GS-1 (58 dias de crescimento), GS-2 (69 dias de crescimento) e GS-3 (93 dias de crescimento). Os testes utilizaram 3 concentrações do extrato, 10 $\mu\text{g/mL}$, 100 $\mu\text{g/mL}$ e 1000 $\mu\text{g/mL}$. A concentração de 10 $\mu\text{g/mL}$ mostrou letalidade máxima na fase GS-3, com $13.3 \pm 0.33\%$ e mínima na fase GS-1 com $6.66 \pm 0.02\%$ de letalidade. A concentração de 100 $\mu\text{g/mL}$ teve letalidade máxima de 13.3 ± 0.67 na fase GS-3 e mínima na fase GS-3 com $6.66 \pm 0.34\%$ de letalidade. A concentração de 1000 $\mu\text{g/mL}$ teve letalidade máxima na fase GS-1 com $26.7 \pm 3.34\%$ e mínima na fase GS-2, com $8.91 \pm 0.10\%$. Para controle positivo foi utilizado o etoposídeo que teve letalidade mínima de 73.2 ± 0.21 na concentração de 10 $\mu\text{g/mL}$ e de 100 ± 0.01 nas outras concentrações. Sendo assim, o extrato aquoso de *O. basilicum* não apresentou toxicidade notável em nenhuma das concentrações testadas.

Chenni et al (2016) (8) investigou o potencial antimicrobiano dos óleos essenciais extraídos por micro-ondas sem solvente (SFME) e hidrodestilação convencional (HD) de *O. basilicum* frente a duas bactérias Gram-positivas, *Staphylococcus aureus* e *Bacillus subtilis* e duas bactérias Gram-negativas, *Escherichia coli* and *Pseudomonas aeruginosa*, and uma levedura: *Candida albicans*. O Extrato HD teve concentrações inibitórias mínimas (MIC) maiores que o SFME. Sendo que para as bactérias gram positivas O HD teve 25 $\mu\text{L/mL}$ de MIC e 30 $\mu\text{L/mL}$ para as gram negativas e 40 $\mu\text{L/mL}$ para *Candida albicans*. Enquanto o SFME teve MIC de 18 $\mu\text{L/mL}$ para as bactérias gram positivas e 25 (*Escherichia coli*) e 20 (*Pseudomonas aeruginosa*) para as duas bactérias gram negativas e 30 $\mu\text{L/mL}$ para a levedura. Em relação a inibição em placa Petri, a *Staphylococcus aureus* foi a mais sensível contra os extratos,

apresentando as maiores zonas de inibição (33–38 mm) e a mais resistente contra os extratos foi a *E. coli* com as menores zonas de inibição (26–22 mm). A levedura teve zonas de inibição de (34–31 mm). Ambos os extratos apresentaram boa atividade antimicrobiana, com o extrato SFME levemente mais efetivo com MIC menores. Os extratos tiveram boa eficácia contra todos os microrganismos, mas foram mais efetivos contra as bactérias gram positivas.

Tabela 3: atividades biológicas de *O. basilicum*

Número de identificação do trabalho	Atividades biológicas encontradas
11	Antioxidante
2	Antimicrobiano
12	Antioxidante
5	Antioxidante, citotóxico, antimicrobiano
6 inflamatória	Antioxidante, anti-helmíntica e anti-
7	Citotoxicidade
8	Antimicrobiano

CONCLUSÕES

O. basilicum é uma planta muito importante para a farmacologia pois seus compostos secundários atribuem à planta enorme potencial bioativo. Potencial que abrange uma vasta gama de possibilidades de aplicação, seja na piscicultura, produção de fármacos, medicina complementar etc.

Seus compostos secundários de extratos de solventes orgânicos se destacam principalmente pelo seu potencial antioxidante e presença de ácidos

fenólicos e flavonóides, enquanto seu óleo essencial se destaca pelo seu potencial antimicrobiano e de aplicação *in vivo* contra o estresse oxidativo. A maior parte de sua composição consiste principalmente de terpenóides e fenilpropanóides..

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Pernambuco e aos órgãos de fomento CNPq e FACEPE

REFERÊNCIAS

GALVÃO, Bárbara Verena Dias. **Estudo etnofarmacológico da eficácia e segurança do extrato hidrometanólico da folha de *Myrciaria cauliflora* sobre o *Trypanosoma cruzi***. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso.

SILVA, Suzana Helena Campelo Nogueira da et al. Avaliação de atividade antimicrobiana e perfil fitoquímico de plantas medicinais utilizadas por comunidades remanescentes de quilombos no Marajó. 2020.

DO CARMO, Cristiano Oliveira et al. Utilização de compostos orgânicos inoculados com Actinobactéria na adubação de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.). **Magistra**, v. 30, p. 18-27, 2019.

Vlase, L., Benedec, D., Hanganu, D., Damian, G., Csillag, I., Sevastre, B., Mot, A.C., Silaghi-Dumitrescu, R., Tilea, I. (2014). Evaluation antioxidant and antimicrobial activities and phenolic profile for *Hyssopus officinalis*, *Ocimum basilicum* and *Teucrium chamaedrys*. *Molecules* 19, 5490–5507.

ALVES, L.S. *et al.* (2015) “Teor, rendimento E composição química do óleo essencial de plantas de manjeriço submetidas AO estresse salino COM NaCl,” *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 17(4 suppl 1), pp. 807–813. Available at: https://doi.org/10.1590/1983-084x/14_031.

Manjerico [Internet]. Terra das Plantas. 2010 [cited 2023Jan14]. Available from: <https://plantamania.wordpress.com/2010/05/31/manjerico/>

Freire, I.C.M. *et al.* (2014) “Atividade antibacteriana de óleos essenciais sobre *streptococcus mutans* e *staphylococcus aureus*,” *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 16(2 suppl 1), pp. 372–377. Available at: https://doi.org/10.1590/1983-084x/12_053.

Veloso, R.A. *et al.* (2014) “Teor e Composição do óleo Essencial de Quatro Acessos e Duas Cultivares de Manjeriço (*ocimum basilicum* L.),” *Revista Brasileira de Plantas Medicinai*s, 16(2 suppl 1), pp. 364–371. Available at: https://doi.org/10.1590/1983-084x/12_180

Ferreira, D.de *et al.* (2017) “Oxygen introduction during extraction and the improvement of antioxidant activity of essential oils of basil, lemon and lemongrass,” *Ciência Rural*, 47(8). Available at: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20170045>.

Silva DD, Chierice GO, Galhiane MS, Chaar Jda, Mouchrek-Filho VE. Quantificação do linalol no óleo essencial da aniba *duckei* Korstermans utilizando uma nova coluna capilar polyh4-MD EM Cromatografia Gasosa. *Química Nova*. 2003;26(4):461–5.

Gazolla P, Teixeira R, Silva A, Vaz B, Vasconcelos G, Siqueira R, et al. Síntese E avaliação da atividade citotóxica de derivados do Eugenol Contendo NÚCLEOS 1,2,3-TRIAZÓLICOS. *Química Nova*. 2018;

Majdi C, Pereira C, Dias MI, Calhela RC, Alves MJ, Rhourri-Frih B, et al. Phytochemical characterization and bioactive properties of cinnamon basil (*ocimum basilicum* CV. ‘cinnamon’) and Lemon Basil (*Ocimum × citriodorum*). *Antioxidants*. 2020;9(5):369.

Osei Akoto C, Acheampong A, Boakye YD, Naazo AA, Adomah DH. Anti-inflammatory, antioxidant, and anthelmintic activities of *ocimum basilicum* (sweet basil) fruits. *Journal of Chemistry*. 2020;2020:1–9.

Nadeem HR, Akhtar S, Sestili P, Ismail T, Neugart S, Qamar M, et al. Toxicity, antioxidant activity, and phytochemicals of basil (*ocimum basilicum* L.) leaves cultivated in southern Punjab, Pakistan. *Foods*. 2022;11(9):1239

Chenni M, El Abed D, Rakotomanomana N, Fernandez X, Chemat F. Comparative study of essential oils extracted from Egyptian basil leaves (*ocimum basilicum* L.) using hydro-distillation and solvent-free microwave extraction. *Molecules*. 2016;21(1):113.

Romano R, De Luca L, Aiello A, Pagano R, Di Pierro P, Pizzolongo F, et al. Basil (*ocimum basilicum* L.) leaves as a source of bioactive compounds. *Foods*. 2022;11(20):3212

O. Felipe L, L. Bicas J. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química Nova na Escola*. 2017;39(2).

Cunha FVM, Coêlho AG, Nunes LCC, Oliveira Fde A. Fenilpropanóides: ferramentas para promoção da estabilidade genômica . *Boletim Informativo Geum*. 2018Jun;9(2):50–8.

Ahmed, A.F. *et al.* (2019) “Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*ocimum basilicum* L.) plants,” *Food*

Science and Human Wellness, 8(3), pp. 299–305. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.07.004>.

Pitaro SP, Fiorani LV, Jorge N. Potencial antioxidante dos extratos de manjeriço (*Ocimum basilicum* Lamiaceae) e orégano (*Origanum vulgare* Lamiaceae) em óleo de soja. *Rev Bras Pl Med*. 2012;14(4):686–91.

Magara G, Prearo M, Vercelli C, Barbero R, Micera M, Botto A, et al. Modulation of antioxidant defense in farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed with a diet supplemented by the waste derived from the supercritical fluid extraction of Basil (*ocimum basilicum*). *Antioxidants*. 2022;11(2):415.

Ferreira LG, Celotto AC, Capellini VK, Albuquerque AA, Nadai TR, Carvalho MT, et al. Does rosmarinic acid underestimate as an experimental cardiovascular drug? *Acta Cirurgica Brasileira*. 2013;28(suppl 1):83–7.

Capítulo 25

Doi.org/10.53934/9786599965814-25

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE E ATIVIDADE HEMOLÍTICA DE EXTRATOS ETANÓLICOS: *Anacardium occidentale* E *Spondias tuberosa*

Givaldo Gabriel Alves da Silva *; Gisele Nayara Bezerra da Silva ; Rosângela Estevão Alves Falcão ; Vladimir da Mota Silveira Filho 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: givaldogabriel76@gmail.com

Resumo: Os radicais livres são moléculas reativas e instáveis provenientes de reações metabólicas, em que seu excesso contribui para o desenvolvimento do estresse oxidativo, podendo intensificar patologias cardiovasculares, neurodegenerativas e carcinogênicas. Os antioxidantes agem no combate contra esses radicais livres, fazendo com que essas moléculas reativas, sejam neutralizadas. Terapias utilizando antioxidantes naturais têm se tornado relevantes devido a sua baixa toxicidade. Este trabalho buscou avaliar a capacidade antioxidante do cajueiro (*Anacardium occidentale*) e do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*). Para isso, foram analisados diferentes extratos etanólicos destas plantas: casca e folha do cajueiro (CC e CF) e casca e fruto do umbuzeiro (UC e UF). Os extratos foram submetidos ao teste de captura de radicais livres (ABTS+), avaliação da atividade hemolítica e ensaio de proteção ao DNA frente a um agente oxidante. Foi observado que todos os extratos possuem uma atividade sequestradora de elétrons acima de 70% nas concentrações testadas. Além disso, todos os extratos apresentaram um percentual de hemólise abaixo de 40%, indicando baixa toxicidade à membrana plasmática. Porém, nenhum extrato apresentou ação protetora contra o dano oxidativo ao DNA. Inclusive, os extratos CC, CF e UF em concentrações mais elevadas promoveram a degradação total ou parcial do DNA. Dessa forma, as espécies *A. occidentale* e *S. tuberosa* possuem compostos com grande potencial antioxidante, mas que necessitam de estudos mais aprofundados em relação a sua interação com outras moléculas orgânicas.

Palavras-chave: Anacardiaceae, atividade hemolítica, DNA, oxidação, radicais livres.

Abstract: Free radicals are reactive and unstable molecules resulting from metabolic reactions, in which their excess contributes to the development of oxidative stress, which can intensify cardiovascular, neurodegenerative and carcinogenic pathologies. Antioxidants act in the fight against these free radicals, causing these reactive molecules to be neutralized. Therapies using natural antioxidants have become relevant due to their low toxicity. This work aimed to evaluate the antioxidant capacity of cajueiro (*Anacardium occidentale*) and umbuzeiro (*Spondias tuberosa*). For this, different ethanol extracts of these plants were analyzed: cajueiro bark and leaf (CC and CF) and umbuzeiro bark and fruit (UC and UF). The extracts were submitted to the free radical capture test (ABTS+), evaluation of hemolytic activity and DNA protection assay against an oxidizing agent. It was observed that all extracts have an electron scavenging activity above 70% at the concentrations tested. In addition, all extracts showed a percentage of hemolysis below 40%, indicating low toxicity to the plasma membrane. However, no

extract showed protective action against oxidative DNA damage. Even the CC, CF and UF extracts at higher concentrations promoted total or partial DNA degradation. Thus, the species *A. occidentale* and *S. tuberosa* have compounds with great antioxidant potential,

Key Word: Anacardiaceae, hemolytic activity, DNA, oxidation, free radicals.

INTRODUÇÃO

O estresse oxidativo no organismo ocorre devido a produção descontrolada dos radicais livres. Eles são moléculas ou átomos que possuem elétrons livres, onde a orbital externa está desemparelhada e são provenientes de fontes exógenas, como radiações, cigarros, dietas, medicamentos, entre outros (1,2), porém podem ser derivados a partir das vias endógenas, como subproduto do metabolismo (3).

Os radicais livres são consequências do processo de oxidação-redução, que faz com que uma molécula perca ou ganhe elétrons na sua última camada, tornando-a instável (4). Essa instabilidade pode ser responsável pelo processo de degradação de moléculas, provocando a morte celular (5,6). Terapias utilizando antioxidantes naturais ganharam importância no tratamento de doenças devido à baixa toxicidade, quando comparados aos antioxidantes sintéticos, que podem ser prejudiciais à saúde, provocando enfraquecimento muscular, perda de cabelo, entre outros (7).

A oxidação alimentícia contribui para uma deterioração mais rápida do alimento, sendo capaz de mudar sua textura, bem como resultar no desenvolvimento de odores e/ou toxinas (8). O uso de agentes antioxidantes também é importante na indústria alimentícia, pois evitam a rápida oxidação dos alimentos perecíveis, aumentando sua durabilidade e vida de prateleira (9).

Devido às consequências causadas pelos radicais livres, nos últimos anos, estudos sobre atividades antioxidantes de extratos vegetais têm ganhado destaque, devido a sua origem natural, de baixo custo e fácil acesso (10,11). Várias plantas já foram testadas na busca por compostos com atividade antioxidante. Dentre elas, destacam-se as espécies que possuem alta quantidade de polifenóis, uma vez que esses compostos possuem alta afinidade e estrutura que facilitam o processo de captura de radicais livres (6).

No Brasil existe uma grande diversidade vegetal, em comparação com o restante do mundo, com destaque para as regiões Norte e Nordeste (12). O uso de plantas nativas da região do Agreste Meridional na investigação de atividade antioxidante favorece o desenvolvimento de tecnologias e compostos que possibilitam um incremento na economia local e de valorização de atividades do campo sejam elas extrativas ou de plantio.

O presente trabalho utilizou extratos vegetais de duas espécies nativas da Caatinga, *Anacardium occidentale* (cajueiro-roxo) e *Spondias tuberosa* (umbu), com o objetivo de avaliar in vitro sua toxicidade e seu potencial antioxidante. Os resultados deste trabalho podem contribuir para a indústria farmacêutica e alimentícia, possibilitando mais opções de tipos de antioxidantes, diminuindo assim as consequências provocadas pelos efeitos dos radicais livres.

MATERIAL E MÉTODOS

Extratos vegetais

Neste estudo, foram utilizadas duas espécies de plantas, cajueiro (*Anacardium occidentale*, tombamento 80723) e umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, tombamento 80725), cadastradas na plataforma do Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado. A partir dessas plantas, foram analisados quatro tipos de extratos etanólicos: CC - cajueiro casca; CF - cajueiro folha; UC - umbuzeiro casca; UF - umbuzeiro fruto. Tais extratos foram cedidos pelo grupo de pesquisa Produtos Naturais da Universidade de Pernambuco - Campus Garanhuns.

ABTS

O teste de 2,2-azino-bis (3-etilbenzotiazolína) 6-ácido sulfônico (ABTS+) (13,14,15,16), tem o objetivo de quantificar o potencial antioxidante de extratos, frente ao radical artificial ABTS+. Para a preparação do radical cátion ABTS+, foi utilizado ABTS 7 mM e K₂S₂O₈ 140 mM, deixando em repouso em temperatura ambiente, protegido da luz por 16 h. Após este período, a solução foi diluída em Etanol P.A., até alcançar uma absorbância de 0.05-0.7 em 734 nm. Em seguida, foi adicionado o extrato em diferentes concentrações (variando de 5 – 500 µg/mL), 450 µL de ABTS+ e etanol P.A., ajustando-se a um volume final de 500 µL. As amostras foram incubadas em banho ultrassônico por 6 min a temperatura ambiente. Em seguida, foram transferidas para uma microplaca de 96 poços para leitura da absorbância a 734 nm. Nesse ensaio, o TROLOX 0.1 mg/mL (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametacromano-2-ácido carboxílico) foi utilizado como controle positivo nas concentrações de 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 µg/mL. Para calcular o percentual de captura de radical livre, foi utilizada a seguinte fórmula:

Atividade Sequestradora (%) = 100 * [(Abs Controle – Abs amostra) / Abs Controle]

Ensaio de atividade hemolítica

Este foi baseado em Dacie e Lewis (17), com o objetivo de avaliar a toxicidade dos extratos em relação a membrana plasmática de eritrócitos. Para isso, foi realizada uma coleta de amostra de sangue humano tipo O+ (CEP N° 4.733.296), em tubo estéril contendo EDTA 0.1 g/dL. O sangue total foi centrifugado a 2500 rpm por 5 min e lavado três vezes com NaCl 0.9%, diluindo-se as hemácias a uma concentração de 0.5%. Diferentes concentrações dos extratos vegetais (10 µg/mL, 100 µg/mL, 500 µg/mL e 1000 µg/mL) foram adicionados às hemácias, ajustando-se a um volume final de 5 mL e incubando-se a temperatura ambiente por 1 h. Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 2500 rpm por 5 min e o sobrenadante foi transferido para uma microplaca de 96 poços para leitura da absorbância a 540 nm. Para o controle positivo da hemólise foi utilizado TritonX-100 1%. Ao final da leitura, realizou-se o seguinte cálculo, para determinação do percentual de hemólise provocado pelo extrato:

% = Absorbância do teste x 100% / Absorbância do controle positivo

Ensaio de proteção ao DNA

O ensaio foi baseado em Stojkova *et al.* (18), com o objetivo de avaliar a capacidade protetora do extrato contra um agente oxidante, na tentativa de impedir a degradação do DNA. Para a reação, foi utilizado o DNA genômico da bactéria *Escherichia coli* ATCC 25922, o agente oxidante (H₂O₂ 10 mM + Fe₃Cl₂ 500 µM) e os extratos em diferentes concentrações (0.25, 0.50, 0.75 e 1.00 mg/mL). O DNA bacteriano foi quantificado por fotometria, utilizando os valores de absorbância a 260 nm até atingir uma concentração inicial de 200 ng/µL. Os extratos e 1 µg do DNA foram incubados por

10 min em temperatura ambiente em um volume de 10 uL. Logo em seguida, foi adicionado 10 uL do oxidante, incubando-se as amostras a temperatura de 37°C por 30 min. Como controle negativo, foram utilizadas as mesmas soluções sem a presença do agente oxidante, ajustando-se a um volume final de 20 uL. Após os ensaios de oxidação e inibição da oxidação, a quantificação do DNA foi realizada de forma indireta, utilizando o sistema de fotodocumentação SmartView Pro 1100 Imager System. para calcular a intensidade da fluorescência em gel de agarose corado com brometo de etídeo. Para isso, foi utilizada como referência, uma banda de DNA contendo 200 ng de DNA.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ABTS

Um dos métodos mais utilizados na investigação de potencial antioxidante em plantas é a análise de ABTS que é formada a partir da oxidação com persulfato de potássio que é reduzido na presença de antioxidantes doadores de hidrogênio. Neste estudo, foi investigado o potencial antioxidante de cada extrato em diferentes concentrações (5 ug/mL a 500 ug/mL), utilizando o Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametacromano-ácido 2-carboxílico) como controle antioxidante padrão.

Para os extratos do cajueiro (CC e CF), foi observado que existe uma diferença percentual no potencial antioxidante de cada um deles. Analisando a Tabela 1, o extrato CC conseguiu maior captura dos radicais na concentração final de 450 ug/mL, com atividade sequestradora de 90.15%. No entanto em análise de variância fator duplo sem repetição (ANOVA) o Fator P foi igual a 0.493. Considerando um P maior que 0.05, estatisticamente não há variação entre as concentrações apontadas, o que permite afirmar que mesmo em concentrações menores como 50 ug/mL, o extrato CC apresenta o mesmo potencial antioxidante, sem que haja perda na eficácia.

TABELA 1 – Dados obtidos no teste ABTS do extrato CC (cajueiro casca)

Concentração Final (ug/mL)	Atividade Sequestradora (%)
50	88.41
100	88.84
200	89.24
300	89.36
400	89.79
450	90.15
Valor de R	0.9612

Em relação ao extrato CF, foi observada uma ação antioxidante maior na concentração de 20 ug/mL, com atividade sequestradora de 90.45% (Tabela 2). Apesar da não homogeneidade das concentrações entre ambos os extratos, é possível confirmar que nas concentrações apresentadas, o extrato conseguiu inibir em mais de 80% os radicais presentes na reação. Ao submeter o resultado ao tratamento estatístico com

ANOVA, observou-se um P igual a 0.510, o que indica não haver variância significativa entre as diferentes concentrações.

TABELA 2 – Dados obtidos no teste ABTS do extrato CF (cajueiro folha)

Concentração Final (ug/mL)	Atividade Sequestradora (%)
10	90.27
20	90.45
60	89.80
90	89.80
250	89.00
300	88.51
Valor de R	0.9622

Ao analisar caule e folha do cajueiro, Santos *et al.* (19) obtiveram um percentual antioxidante maior que 50%, corroborando com os dados encontrados e ressaltando a importância desta espécie como fonte de antioxidantes naturais. De acordo com Correia, David e David (20), a inibição dos radicais livres pelos extratos das estruturas do cajueiro ocorre devido à alta quantidade de fenólicos na sua composição. Segundo Silva e Almeida (21), a atividade antioxidante se dá devido à capacidade redutora e sua estrutura química. Tal característica contribui na neutralização e captura dos radicais livres, agindo no início do processo oxidativo e evitando a propagação dos possíveis danos.

O extrato UC apresentou uma atividade sequestradora maior que 60% em todas as concentrações apresentadas na Tabela 3, onde a concentração de 450 ug/mL obteve melhor resultado (89.18%). Contudo, no teste ANOVA, o resultado de P foi igual a 0.430, indicando que não houve variância significativa nas diferentes concentrações.

TABELA 3 - Dados obtidos no teste ABTS do extrato UC (umbuzeiro casca)

Concentração Final (ug/mL)	Atividade Sequestradora (%)
50	69.95
70	71.92
80	70.86
90	72.83
450	89.18
500	87.36%
Valor de R	0.9754

Os resultados apresentados pelo extrato UF (Tabela 4), indicaram que baixas concentrações do extrato foram suficientes para atingir uma atividade sequestradora acima de 70%.

TABELA 4 – Dados obtidos no teste ABTS do extrato UF (umbuzeiro fruto)

Concentração Final (ug/mL)	Atividade Sequestradora (%)
5	28.35
10	21.61
20	28.35
30	32.13
90	79.65
100	78.68
Valor de R	0.9676

Em trabalhos anteriores, Araújo *et al.* (22) obtiveram um percentual antioxidante baixo na fruta do umbuzeiro (55.14%), em contrapartida ao percentual observado no galho que foi superior (68.92%). Possivelmente, na região da fruta existe uma quantidade inferior de compostos fenólicos quando comparada às outras estruturas da espécie. Por outro lado, através do teste ABTS, Brito *et al.* (23) identificaram uma atividade sequestradora de 98.57% na casca do fruto do umbuzeiro. Já Xavier *et al.* (24), utilizaram subprodutos do fruto (semente e casca) para produzir uma farinha e analisar seu potencial antioxidante. Os resultados foram promissores, pois indicaram uma alta atividade antioxidante (99.66%), devido a farinha ser rica em compostos fenólicos, além de possuir um alto teor nutricional.

Ensaio de atividade hemolítica

O ensaio de atividade hemolítica avalia a toxicidade do extrato em eritrócitos humanos, onde os resultados podem indicar seu uso seguro em seres vivos, ou mesmo recomendar limites de concentrações nas formulações propostas. Para isso, foram avaliadas diferentes concentrações dos extratos frente a uma suspensão de hemácias 0.5%.

Os dados obtidos neste teste podem ser visualizados na Tabela 5, onde os extratos de cajueiro (CC e CF) e umbuzeiro (UC e UF) resultaram num percentual de hemólise consideravelmente baixo (<40%, limite máximo aceitável). Isso permite que esses extratos possam ser utilizados em uma concentração mais elevada, sem que haja risco de toxicidade. Dentre eles, o extrato UC foi bastante promissor, pois em todas as concentrações testadas, obteve-se um percentual de hemólise abaixo de 10% e sem grandes variações, garantindo assim uma possibilidade de uso seguro e sem risco de toxicidade. Trabalhos testando atividade hemolítica nessas plantas ainda são escassos na literatura. Araújo *et al.* (25) testaram a capacidade hemolítica da casca do cajueiro, em concentrações semelhantes a este trabalho e adquiriu também resultados similares, comprovando assim que a ação hemolítica para casca é baixa. Nos ensaios hemolíticos desenvolvidos por Saidu *et al.* (26), com extrato folhas de cajueiro, o percentual de hemólise foi elevado, provavelmente por conta da alta concentração de taninos. Esses dados contradiz com o nível de hemólise detectado neste estudo (32.40%), quando utilizada a concentração de 1000 ug/mL. Ao analisar a atividade hemolítica de extratos do umbuzeiro (casca e fruto), Araújo (27) obteve também em seus resultados baixo

percentual de hemólise para ambos os extratos, de forma semelhante aos resultados encontrados neste trabalho.

TABELA 5 – Dados obtidos nos ensaios de atividade hemolítica dos extratos

Extrato vegetal	Concentração (ug/mL)	Percentual de Hemólise (%)
CC	10	10.37
	100	5.47
	500	13.17
	1000	5.88
CF	10	3.23
	100	2.86
	500	5.50
	1000	32.40
UC	10	4.67
	100	4.34
	500	9.68
	1000	3.76
UF	10	3.57
	100	3.55
	500	8.29
	1000	27.88

Ensaio de proteção ao DNA

A investigação da utilização de extratos vegetais para fins terapêuticos, apesar de ser algo que traz bastante benefício, ainda assim pode apresentar um certo grau de toxicidade. Com isso, é necessário estudos para que se comprove a baixa toxicidade dos extratos, avaliando a quantidade viável para o organismo. Uma das moléculas sensíveis aos processos oxidativos é o DNA, pois alterações em sua estrutura podem ocasionar mutações diversas, como substituição de bases, quebra da dupla-hélice, perda de interação entre DNA e proteínas regulatórias (28).

Alguns tipos de extratos de plantas vêm sendo estudados, com o objetivo de avaliar o grau de proteção ao DNA contra efeitos oxidativos (29). Na Figura 1 é possível visualizar os resultados obtidos neste ensaio para os quatro extratos.

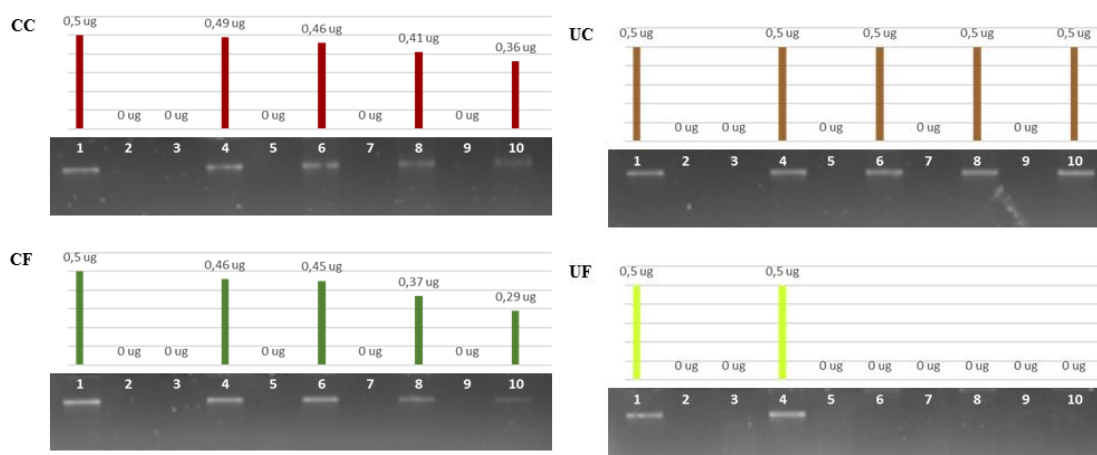


FIGURA 1 – Resultados dos ensaios de proteção ao DNA pelos extratos CC (cajeeiro casca), CF (cajeeiro folha), UC (umbuzeiro casca) e UF (umbuzeiro fruto).

A oxidação do DNA é um dos danos mais comuns causados pelos radicais livres, o qual irá induzir a degradação da molécula, contribuindo para doenças degenerativas (30). De acordo com Azqueta, Shaposhnikov e Collins (31), apesar do nosso organismo dispor de diversos mecanismos de reparo ao DNA, os danos provocados pela oxidação afetam um grande número bases, impossibilitando o processo de reparação efetivo do DNA.

Segundo Moreira *et al.* (32) e Viswanath *et al.* (33), o cajueiro e umbuzeiro possuem altos níveis de propriedades antioxidante. Porém, no presente trabalho, os extratos dessas espécies não garantiram proteção ao DNA frente ao agente oxidante, mesmo em diferentes concentrações. Foi possível observar ainda, que alguns extratos em concentrações mais elevadas promoveu a degradação total ou parcial do DNA (Figura 1). Por exemplo, nos extratos CC, CF e UF, a degradação ocorreu de maneira crescente, à medida que a concentração do extrato foi aumentando. Contudo, o extrato UC não promoveu degradação do DNA em nenhuma das concentrações testadas. Não há relatos na literatura sobre a ação de extratos vegetais capazes de degradar o DNA, sendo necessário uma investigação mais aprofundada sobre esse processo.

CONCLUSÕES

As propriedades antioxidantes pertencente ao cajueiro e umbuzeiro são de interesse na ciência, como também na indústria alimentícia. Os resultados obtidos neste trabalho evidenciaram que os extratos CC, CF, UC e UF apresentaram alto potencial de captura de radicais livres e baixo poder de hemólise, porém não foram capazes de proteger o DNA do dano oxidativo, causando em alguns casos a degradação do DNA. Dessa forma, o extrato UC mostra-se promissor por não apresentar toxicidade à membrana plasmática, nem ao DNA. Fica como perspectiva, a necessidade de novos testes *in vitro* e *in vivo* da ação antioxidante, além de identificar os compostos presentes nos extratos individualmente.

REFERÊNCIAS

1- FERREIRA, Jayana Gabrielle Sobral; FERREIRA, Victória Virna da Silva; COSTA, Felipe de Almeida; SANTOS, Igor Luiz Vieira de Lima; SILVA, Carliane Rebeca

Coelho da. ENVELHECIMENTO E A INFLUÊNCIA DEGENERATIVA DOS RADICAIS LIVRES NESSE PROCESSO. In: CONGRESSO INTERNACIONAL EM ENVELHECIMENTO HUMANO, 7., Campina Grande. p. 1-12.

2- PREVEDELLO, Maiara Trindade; COMACHIO, Gabrieli. Antioxidantes e sua relação com os radicais livres, e Doenças Crônicas Não Transmissíveis: uma revisão de literatura / antioxidants and their relationship with free radicals, and chronic non communicable diseases. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 55244-55285, 7 jun. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n6-096>.

3- NUNES, Clara dos Reis; ABREU, Annelise Maria de Oliveira Wilken de. Influência dos radicais livres e envolvimento do processo inflamatório na aterosclerose. Vértices, Campos dos Goytacazes, v. 14, n. 3, p. 53-69, dez. 2012.

4- POPRAC, Patrik; JOMOVA, Klaudia; SIMUNKOVA, Miriama; KOLLAR, Vojtech; RHODES, Christopher J.; VALKO, Marian. Targeting Free Radicals in Oxidative Stress-Related Human Diseases. Trends In Pharmacological Sciences, [S.L.], v. 38, n. 7, p. 592-607, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tips.2017.04.005>.

5- AHMED, Adel F.; ATTIA, Fatma A.K.; LIU, Zhenhua; LI, Changqin; WEI, Jinfeng; KANG, Wenyi. Antioxidant activity and total phenolic content of essential oils and extracts of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) plants. Food Science And Human Wellness, [S.L.], v. 8, n. 3, p. 299-305, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fshw.2019.07.004>.

6- SILVA, Luís Cláudio Nascimento da; SILVA, Carlos Alberto da; SOUZA, Renata Maria de; MACEDO, Alexandre José; SILVA, Márcia Vanusa da; CORREIA, Maria Tereza dos Santos. Comparative analysis of the antioxidant and DNA protection capacities of *Anadenanthera colubrina*, *Libidibia ferrea* and *Pityrocarpa moniliformis* fruits. Food And Chemical Toxicology, [S.L.], v. 49, n. 9, p. 2222-2228, set. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2011.06.019>.

7- DAS N, Islam ME, Jahan N, Islam MS, Khan A, Islam MR, Parvin MS. Antioxidant activities of ethanol extracts and fractions of *Crescentia cujete* leaves and stem bark and the involvement of phenolic compounds. BMC Complement Altern Med. 2014 Feb 4;14:45. doi: 10.1186/1472-6882-14-45.

8- SILVA, Mariane Prieto Lima da; SILVA, Leonor Alves de Oliveira da. Avaliação do potencial Antioxidantes de fontes alimentícia / Avaluation of potential antioxidants from food sources. Brazilian Journal Of Development, [S.L.], v. 7, n. 9, p. 91499-91511, 22 set. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n9-351>.

9- VIANA, Mariana Vieira; ARENARI, Vivian Silva. Antioxidantes sintéticos utilizados em indústrias alimentícias e a possível substituição por antioxidantes naturais. REVISTA DE TRABALHOS ACADÊMICOS-UNIVERSO CAMPOS DOS GOYTACAZES, v. 1, n.12, 2019.

- 10- SCHMITZ, W. O., SIMÃO, A. N. C., CECCHINI, R., SARIDAKIS, H. O. Estresse oxidativo em eritrócitos: efeito antioxidante e antihemolítico do chá verde (*Camellia sinensis*). *Arq. Ciênc. Saúde Unipar, Umuarama*, v. 12, n. 3, p. 175-179, set./dez. 2008.
- 11- KENGNE, Irene Chinda; FEUGAP, Léonel Donald Tsamo; NJOUENDOU, Abdel Jélil; NGNOKAM, Claudia Darille Jouogo; DJAMALLADINE, Mahamat Djamalladine; NGNOKAM, David; VOUTQUENNE-NAZABADIOKO, Laurence; TAMOKOU, Jean-de-Dieu. Antibacterial, antifungal and antioxidant activities of whole plant chemical constituents of *Rumex abyssinicus*. *Bmc Complementary Medicine And Therapies*, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 1-1, 5 jun. 2021. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-021-03325-y>.
- 12- CORDEIRO, Bruna Maria Pereira da Costa; SANTOS, Nataly Diniz de Lima; FERREIRA, Magda Rhayanny Assunção; ARAËJO, Larissa Cardoso Corrêa de; CARVALHO JUNIOR, Alexsander Rodrigues; SANTOS, Alan Diego da Conceição; OLIVEIRA, Ana Paula de; SILVA, Alexandre Gomes da; FALCÃO, Emerson Peter da Silva; CORREIA, Maria Tereza dos Santos. Hexane extract from *Spondias tuberosa* (Anacardiaceae) leaves has antioxidant activity and is an anti-*Candida* agent by causing mitochondrial and lysosomal damages. *Bmc Complementary And Alternative Medicine*, [S.L.], v. 18, n. 1, p. 1-10, 19 out. 2018. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1186/s12906-018-2350-2>.
- 13- RE, R.; PELEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; YANG, M.; RICEEVANS, C. Antioxidant activity applying na improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, v. 26, n.9/10, p. 1231-1237,1999.
- 14- RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; MORAIS, S. M.; SAMPAIO, C. G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F. D. Metodologia Científica: Determinação da Atividade Antioxidante Total em Frutas pela Captura do Radical Livre ABTS+. Comunicado Técnico, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza-CE, 128, 2007.
- 15- HAN, L.; ZHANG, HAI-D; LUO, SHI-S. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total phenol from betel nut seed and evaluation of antioxidante activity IN VITRO. *Eletronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10 (5), 2011.
- 16- ZHU, KE-X; SU, CHUN-Y.; GUO, XIAO-N.; PENG, W; ZHOU, HUI-M. Influence of ultrasound during wheat gluten hydrolysis on the antioxidante activities of the resulting hydrolysate. *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 1053-1059, 2011.
- 17- DACIE J.V.; LEWIS S.M. *Practical Hematology*. 5th Edition. Churchill Livingstone. London. 629 pp. 1975.
- 18- STOJKOVA, Pavla; SPIDLOVA, Petra; LENCO, Juraj; REHULKOVA, Helena; KRATKA, Lucie; STULIK, Jiri. HU protein is involved in intracellular growth and full

virulence of *Francisella tularensis*. *Virulence*, [S.L.], v. 9, n. 1, p. 754-770, 24 abr. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/21505594.2018.1441588>.

19- SANTOS, José Aparecido Silva; SENA, Thierry José Oliveira; COSTA, Marília Layse Alves da; SANTOS, Kelly Cristina Barbosa Silva; SANTOS, Aldenir Feitosa dos. Estudo do potencial antioxidante da *Anacardium occidentale* L. e determinação de seus compostos fenólicos. *Diversitas Journal*, [S.L.], v. 3, n. 2, p. 455-474, 2 set. 2018. Universidade Estadual de Alagoas. <http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i2.637>.

20- CORREIA, Suzimone de J.; DAVID, Juceni P.; DAVID, Jorge M.. METABÓLITOS SECUNDÁRIOS DE ESPÉCIES DE ANACARDIACEAE. *Quim. Nova*, [S.L.], v. 29, n. 6, p. 1287-1300, 13 jul. 2006.

21- SILVA, Anna Eláyne da Silva e; ALMEIDA, Sheylla Susan Moreira da Silva de. Análise fitoquímica das cascas do caule do cajueiro (*Anacardium occidentale* L. – Anacardiaceae). *Estação Científica (Unifasp)*, Macapá, v. 3, n. 2, p. 81-88, dez. 2013.

22- ARAÚJO, Amanda Dias de; OLIVEIRA, Fernanda Granja da Silva; LACERDA, Francinete Francis; SILVA, Carlos Eduardo Sales da; SANTOS, Bruno Souza dos; BEZERRA-FILHO, Clovis Macêdo; RAMOS, Bárbara de Azevedo; HARAND, Wolfgang; SILVA, Nicácio Henrique da; PAIVA, Patrícia Maria Guedes. Triagem fitoquímica, atividades antioxidante, fotoprotetora e hemolítica in vitro dos extratos de acetato de etila dos frutos e ramos de *Spondias tuberosa* (umbu). *Research, Society And Development*, [S.L.], v. 10, n. 1, p. 1-10, 19 jan. 2021. *Research, Society and Development*. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11825>.

23- BRITO, Giovanna Oliveira de; REIS, Bruna Cabral; FERREIRA, Eduardo A.; JUNQUEIRA, Nilton T. Vilela; SÁ-BARRETO, Lívia C. L.; MATTIVI, Fulvio; VRHOVSEK, Urska; GRIS, Eliana Fortes. Phenolic Compound Profile by UPLC-MS/MS and Encapsulation with Chitosan of *Spondias mombin* L. Fruit Peel Extract from Cerrado Hotspot—Brazil. *Molecules*, [S.L.], v. 27, n. 8, p. 1-17, 7 abr. 2022. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules27082382>.

24- XAVIER, Viviane L.; FEITOZA, George S.; BARBOSA, Julyanne Maria L.; ARAÚJO, Katarynna S. de; SILVA, Márcia V. da; CORREIA, Maria Tereza S.; SOUZA, Marthyna P. de; CARNEIRO-DA-CUNHA, Maria das Graças. Nutritional and technological potential of Uumbu (*Spondias tuberosa* Arr. Cam.) processing by-product flour. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, [S.L.], v. 94, n. 1, p. 1-17, 2022. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765202220200940>.

25- ARAÚJO, Josenildo Segundo Chaves de; CASTILHO, Aline Rogéria Freire de; LIRA, Andressa Brito; PEREIRA, Andréia Vieira; AZEVÊDO, Tatiane Kelly Barbosa de; COSTA, Edja Maria de Melo de Brito; PEREIRA, Maria do Socorro Vieira; PESSÔA, Hilzeth de Luna Freire; PEREIRA, Jozinete Vieira. Antibacterial activity against cariogenic bacteria and cytotoxic and genotoxic potential of *Anacardium occidentale* L. and *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan extracts. *Archives Of*

Oral Biology, [S.L.], v. 85, n. , p. 113-119, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.archoralbio.2017.10.008>.

26- SAIDU, A.N, Akanya H.O, Dauda B.E.N, Ogbadoyi E.O. Effect of ethanolic extract of ANACARDIUM OCCIDENTALE leaves on haematological and biochemical parameters of albino rats. International Journal Of Pharmacy And Pharmacology, S.L, v. 9, n. 5, p. 1-6, maio 2020.

27- ARAÚJO, Amanda Dias de. ESTUDO FITOQUÍMICO E AVALIAÇÃO DO POTENCIAL BIOATIVO DO UMBUZEIRO (Spondias tuberosa ARRUDA/ANACARDIACEAE). 2016. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Bioquímica e Fisiologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016

28- BHATTACHARJEE, Suchandra; DETERDING, Leesa J.; CHATTERJEE, Saurabh; JIANG, Jinjie; EHRENSHAFT, Marilyn; LARDINOIS, Olivier; RAMIREZ, Dario C.; TOMER, Kenneth B.; MASON, Ronald P.. Site-specific radical formation in DNA induced by Cu(II)-H₂O₂ oxidizing system, using ESR, immuno-spin trapping, LC-MS, and MS/MS. Free Radical Biology And Medicine, [S.L.], v. 50, n. 11, p. 1536-1545, jun. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2011.02.034>.

29- WU, Xingping; DHANASEKARAN, Sugapriya. Protective effect of leaf extract of Abutilon indicum on DNA damage and peripheral blood lymphocytes in combating the oxidative stress. Saudi Pharmaceutical Journal, [S.L.], v. 28, n. 8, p. 943-950, ago. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsps.2020.06.015>.

30- LIMMONGKON, Apinun; PANKAM, Jintana; SOMBOON, Thapakorn; WONGSHAYA, Pakwuan; NOPPRANG, Phatcharaporn. Evaluation of the DNA damage protective activity of the germinated peanut (Arachis hypogaea) in relation to antioxidant and anti-inflammatory activity. Lwt, [S.L.], v. 101, p. 259-268, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.11.009>.

31- AZQUETA, Amaya; SHAPOSHNIKOV, Sergey; COLLINS, Andrew R.. DNA oxidation: Investigating its key role in environmental mutagenesis with the comet assay. Mutation Research/Genetic Toxicology And Environmental Mutagenesis, S.L., v. 674, n. 2009, p. 101-108, nov. 2008.

32- MOREIRA, Marcílio Nunes; COSTA, Élia Karina de Carvalho; DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues; NARAIN, Narendra. Perfil fitoquímico e propriedade antioxidante de diferentes genótipos de frutos do umbuzeiro (Spondias tuberosa Arruda Câmara): uma revisão. Research, Society And Development, [S.L.], v. 10, n. 16, p. 1-13, 6 dez. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23116>.

33- VISWANATH, Vinod; LEO, Vincent Vineeth; PRABHA, S. Sabna; PRABHAKUMARI, C.; POTTY, V.P.; JISHA, M.s.. Thermal properties of tannin extracted from Anacardium occidentale L. using TGA and FT-IR spectroscopy. Natural Product Research, [S.L.], v. 30, n. 2, p. 223-227, 29 jun. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/14786419.2015.1040992>.

REVESTIMENTO COMESTÍVEIS PARA CONSERVAÇÃO PÓS-COLHEITA DE FRUTAS CLIMATÉRICAS: REVISÃO DE LITERATURA

Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior *; Lucianne Martins Lobato ; Cyntia Airagna Fortes dos Santos ; Gerson Freitas Vieira Neto ; Carlos Alberto Araújo Costa ; Rafael Carvalho da Silva 

*Antonio Deusimar Oliveira de Sousa Junior – Email: antonio.junior.engagro@gmail.com

Resumo: Atualmente, as coberturas comestíveis são utilizadas para desempenhar o papel de proteção e conservação de frutas pós-colheita minimamente processadas e frutas climatéricas, utilizando coberturas naturais e com boa aplicação unida com resultados capazes de reduzir a utilização de plástico na embalagem, possuindo antioxidantes em sua composição para minimizar os efeitos nocivos associados à deterioração da qualidade dos alimentos. Biopolímeros como proteínas, polissacarídeos, ceras e resinas são utilizados na produção desses materiais e podem ser utilizados isoladamente ou em combinação. Tendo isso em vista, o objetivo do trabalho foi reunir informações sobre o revestimento comestível para frutas climatéricas pós-colheita para contribuir com a importância de conservar frutas em regiões de temperaturas elevadas. Com base no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, refletindo essencialmente o padrão histórico de uma determinada variável como temperatura, vento, pressão atmosférica, umidade e precipitação. Além de diversos fatores podem influenciar as perdas pós-colheita, dentre os mais importantes destacam-se as injúrias mecânicas provocadas por embalagens inadequadas e manuseio incorreto, que geralmente começam na propriedade rural.

Palavras-chave: biopolímeros; coberturas comestíveis; revestimentos; fruticultura

Abstract: Currently, edible coatings are used to protect and preserve minimally processed post-harvest fruits and climacteric fruits, using natural coatings and with good application combined with results capable of reducing the use of plastic in packaging, having antioxidants in their composition to minimize harmful effects associated with deteriorating food quality. Biopolymers such as proteins, polysaccharides, waxes and resins are used in the production of these materials and can be used alone or in combination. With this in mind, the objective of this work was to gather information about the edible coating for post-harvest climacteric fruits to contribute to the importance of preserving fruits in regions of high temperatures. Based on the Intergovernmental Panel on Climate Change, essentially reflecting the historical pattern of a given variable such as temperature, wind, atmospheric pressure, humidity and precipitation. In addition to several factors that can influence post-harvest losses, among the most important are mechanical injuries caused by inadequate packaging and incorrect handling, which usually start on the rural property.

Key Word: biopolymers; edible toppings; coatings; fruit growing

INTRODUÇÃO

Recentemente, coberturas comestíveis são produzidas e contêm antioxidantes em sua composição para minimizar os efeitos nocivos associados à deterioração da qualidade dos alimentos e substâncias provenientes da fauna e flora brasileira e outras substâncias naturais (1).

As coberturas comestíveis podem ser utilizadas como estratégia para manter a qualidade e prolongar a vida útil de frutas e hortaliças após a colheita. Estratégias definidas como uma fina camada de materiais biológicos que se formam sob a superfície da fruta. Essas coberturas geralmente são feitas de materiais de qualidade alimentar, adicionando ou substituindo ceras que ocorrem naturalmente na superfície da fruta. Os ingredientes presentes podem ser consumidos dependendo da fruta em questão, por isso devem ser GRAS: geralmente reconhecidos como seguros para consumo humano (2).

Idealmente, esses revestimentos devem ser invisíveis, duráveis e não tóxicos e utilizados como parte dos alimentos, reduzindo as trocas gasosas e a perda de massa e atuando como uma barreira ao ataque microbiano à umidade (3).

Os filmes comumente usados são polietileno e polipropileno. Apesar da eficácia desses polímeros, razões ambientais ligadas às novas tendências têm trazido oportunidades mais sustentáveis para a indústria alimentícia (4).

Devido aos ingredientes alimentares funcionais, a demanda pública por frutas e vegetais no mercado está aumentando com dificuldades. A demanda por hortaliças e frutas minimamente processadas tem aumentado significativamente devido ao seu conteúdo nutricional, fenólicos e antioxidantes, que têm sido associados à prevenção de vários tipos de câncer e doenças degenerativas. Frutas e legumes têm uma vida útil curta devido à sua deterioração. Aproximadamente 30% das frutas e hortaliças sofrem ou se deterioram durante o transporte e manuseio devido a insetos, microrganismos, situações de pré-colheita e pós-colheita (4).

Frutas e hortaliças colhidas requerem métodos de manejo pós-colheita adequados e aprimorados para minimizar as perdas de qualidade e quantidade durante esse período (5). Durante o processo de amadurecimento, as frutas sofrem diversas alterações, como mudanças na cor, sabor, textura e aroma, que afetam diretamente aspectos importantes para a comercialização e indústria, como vida de prateleira pós-colheita, apelo visual, recepção sensorial, rendimento, suscetibilidade a ataques de microrganismos e danos mecânicos (6).

Os frutos se comportam de maneira diferente durante o amadurecimento de acordo com a síntese e respiração de etileno, o que os divide em dois grupos: climatéricos e não climatéricos. Frutos climatéricos são caracterizados por aumento súbito da respiração e síntese de etileno durante o desenvolvimento. As frutas de clima geralmente são colhidas quando os frutos ainda estão verdes. O objetivo é facilitar seu uso e prolongar sua vida útil. Frutos não climáticos não têm esse aumento na taxa de respiração e na produção de etileno (7).

O método de aplicação desse revestimento é importante para a boa conservação dos alimentos frescos, sendo necessário avaliar corretamente qual método funciona melhor variando o tipo de fruta e em quais pontos o revestimento deve funcionar. A interação entre a fruta e o revestimento é chamada de molhabilidade e é usada para avaliar sua eficácia (8).

Com o desenvolvimento da tecnologia, já é possível produzir embalagens ativas que agem como um filme ou revestimento comestível. A produção dessas embalagens tem como base: 1) um biopolímero, que se decompõe rapidamente e sem deixar resíduos, 2)

plastificantes que promovem a conformabilidade e 3) aditivos que interagem com os alimentos para proteger ou retardar os efeitos de elementos como oxigênio, umidade, radiação, radiação ultravioleta, microrganismos, etileno e outras substâncias nocivas que fazem parte da degradação dos alimentos e afetam a vida útil (9, 10).

Nesse contexto, os revestimentos comestíveis parecem ser uma opção, pois são derivados de proteínas, polissacarídeos, lipídeos e compostos. Entre as proteínas utilizadas para fazer coberturas comestíveis, destacam-se o amido e a caseína. Devido à sua abundância e baixo custo, o amido tem sido amplamente utilizado para desenvolver revestimentos comestíveis. Além disso, os revestimentos de amido de alimentos são transparentes, incolores, inodoros e têm baixa permeabilidade ao oxigênio (11).

Os estudos de Dantas et al. (2015), experimentou a incorporação dos revestimentos na preservação das frutas laranja e maracujá, alterando propriedades mecânicas, térmicas e permeáveis, devido a quantidade de fibras presentes nas frutas.

A utilização de revestimentos alimentícios para preservação pós-colheita de frutas inteiras ou minimamente processadas tem sido considerada uma tecnologia emergente com alto potencial econômico, principalmente para frutas tropicais e amplamente exportadas (12). Dessa forma, o objetivo do trabalho foi reunir informações sobre o revestimento comestível para frutas climatéricas pós-colheita, em detrimento dos fatores que alteram a qualidade do fruto em relação ao clima da região predominante.

TÓPICOS

Cenário de frutíferas climatéricas no Brasil

A produção de frutas no Brasil se estabiliza na margem de produção em 41 milhões de toneladas, com ocupação de 2,6 milhões de hectares, ou seja, 0,3% do território nacional pertence à produção de fruticultura, em frente às lavouras que ocupam 7,8%. O país possui em torno de 940 mil propriedades agropecuárias distribuídas em todas as regiões do país, onde 81% se enquadram como agricultura familiar. Devido à grande demanda no setor frutícola, o setor disponibilizou emprego registrado para 193,9 mil pessoas, aumento de 9% em relação ao ano de 2020 (13).

Através dos portos de Pecém e Mucuripe, o estado do Ceará se fortaleceu nacionalmente como uma força na agricultura irrigada de alta tecnologia, na produção de frutas, hortaliças e flores para o mercado interno e para exportação. São as vantagens competitivas de localização que têm estimulado o emprego e a renda no meio rural e melhorado a balança comercial. Considerando os dez primeiros meses de 2020, o Ceará exportou 17,2% mais frutas em relação ao mesmo período do ano passado (US \$50,2 milhões contra US \$2,8 milhões). Os destaques das exportações são frutas como melão, banana, melancia, manga, mamão, caju, coco, maracujá e acerola. (14).

Em 2021, a exportação de frutas frescas do Brasil atingiu recorde em volume e faturamento, apoiada pelo desenvolvimento comercial e produtivo do setor de fruticultura, apesar de bastante otimista, o resultado final das entregas em 2022 não vai manter o recorde alcançado no ano passado. As principais razões para o resultado mais fraco em 2022 são problemas logísticos (falta de contêineres e aumento do valor do frete, tanto marítimo quanto aéreo), altos custos de produção (reforçados pela guerra entre Rússia e Ucrânia, que elevou os valores) , margens reduzidas para exportadores em insumos, principalmente fertilizantes e produção reduzida de algumas frutas em 2022 devido ao clima desfavorável (15).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) as frutas têm uma produção com crescimento acentuado no mercado interno e nas exportações no Brasil, principalmente no Período de Janeiro a abril de 2021, Pesquisas apontam em torno de 450 mil toneladas de frutas gerando US\$ 422,3 milhões de receita ao país, principalmente no estado de São Paulo. Dessa forma, os fruticultores e especialistas asseguram que a exportação é uma atividade que estimula o mercado interno e beneficia a rentabilidade com a produção (16).

Ainda com base nessa projeção de frutas do país, o setor de fruticultura do Brasil bateu recorde, chegando a US \$1 bilhão em exportações de frutas em 2021 (16). O país enviou cerca de 1,2 milhão de toneladas de frutas para o mercado internacional, 18% a mais que no ano passado, o faturamento foi de 1,06 bilhão de dólares, crescendo 20% na mesma comparação. De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados (16).

A mudança climática é um fator limitante na armazenagem pós colheita de frutas no Brasil, pois consiste numa alteração a longo prazo no clima global ou regional. Com base no Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, principalmente em reflexo ao padrão histórico de determinada variável como temperatura, ventos, pressão atmosférica, umidade do ar e chuva (17).

Associado com a mudança climática, outros fatores são decisivos na qualidade de um produto natural, principalmente o armazenamento e a comercialização. Em vista disso, a aplicação de coberturas e revestimentos comestíveis protetores tem se apresentado como técnica útil na preservação de produtos minimamente processados com vida útil reduzida, devido aos processos pelos quais são submetidos (18).

A embalagem consiste na tecnologia utilizada para entregar produtos seguros aos consumidores finais a um preço acessível. Na preservação de alimentos, tal tecnologia é extremamente necessária, pois permite a comercialização de produtos com maior resistência ao tempo diferente do local de produção, e aumenta a durabilidade em transporte (19).

Revestimento comestível

O crescente volume de utilização de materiais plásticos e as implicações ambientais inerentes ao seu descarte não racional pós-consumo, como no setor de alimentos, tem preocupado a sociedade. Tradicionalmente, os plásticos são derivados do petróleo, caracterizando-se por ser um material não biodegradável e inerte, uma vez que é sabido que pode levar algumas dezenas ou centenas de anos para se degradar no meio ambiente (12). Contudo, são materiais com grande aplicabilidade e versatilidade, em geral são resistentes, leves, e o que mais chama a atenção é que são de baixo custo, o que os torna bastante atrativos para um grande número de aplicações que podem variar desde fabricação de peças à produção de embalagens (12).

Definidos de acordo com suas características de aplicação, filmes comestíveis são estruturas pré-formadas originadas por moldagem de compressão, fundição ou extrusão, geralmente utilizados para acondicionar produtos finais (20); já os revestimentos são formados por uma película pela imersão, pulverização ou solução dispersa na superfície do alimento (21,22). Suas propriedades de formação de filme permitem a síntese de membranas (espessura $> 30\mu\text{m}$) e revestimentos ($< 30\mu\text{m}$) que são utilizados com sucesso para a conservação dos alimentos (23).

Filmes produzidos com polímeros biodegradáveis oferecem uma alternativa sustentável utilizando embalagens menos prejudiciais ao meio ambiente, além de aumentar

a vida da prateleira de alimentos. O desenvolvimento de materiais biodegradáveis a partir de fontes renováveis e a consequente redução no uso de polímeros plásticos sintéticos reduziram os impactos ambientais esperados pela indústria de embalagens (24).

Para a produção desses materiais, são usados biopolímeros como proteínas, polissacarídeos, ceras e resinas no preparo de revestimentos, podendo ser empregados puros ou em combinação (25). O uso dos revestimentos comestíveis traz benefícios aos frutos da prateleira tanto no prolongamento da vida útil, quanto atratividade ao consumidor, conservando o alimento, pois reduz sua taxa de respiração e retarda a perda de compostos voláteis.

Villadiego e colaboradores (9) definem os revestimentos comestíveis como biopolímeros de origem animal ou vegetal, aplicados diretamente sobre a superfície do alimento, que após secos formam uma fina camada que age como uma barreira protetora aos elementos externos, como umidade, óleo e vapor orgânico, estendendo a vida de prateleira, sem comprometer os aspectos sensoriais como cor, nem sabor.

Entre os biopolímeros utilizados em revestimentos comestíveis, os amidos são os que têm mostrado eficiência. O amido, depois da celulose, é o mais abundante no planeta e consiste de moléculas lineares (amilose) e ramificadas (amilopectina) de glicose, e é amplamente usado pela sua versatilidade, abundância, baixo custo e propriedades protetivas benéficas na conservação de frutas e hortaliças (26).

A quitosana é um polissacarídeo natural, barato e disponível comercialmente. Além da sua versatilidade, esse material detém outras propriedades interessantes comercialmente, tais como: atoxicidade, renovabilidade, biodegradabilidade, biocompatibilidade, além de propriedades antibacterianas, antifúngicas e de afinidade com proteínas (27).

A quitosana é obtida a partir do exoesqueleto de crustáceos (camarão, caranguejo de garra vermelha e conchas de caranguejo), paredes celulares de fungos e outros materiais biológicos, sendo um dos poucos polissacarídeos catiônicos e que exhibe as propriedades químicas desejadas para aplicações em larga escala em vários campos. Por ser atóxica e biodegradável no corpo humano, a quitosana é um material muito atrativo para RCs (revestimento comestíveis) devido às suas propriedades antimicrobianas contra bactérias, fungos e leveduras (28, 29).

Revestimentos comestíveis podem ser preparados e aplicados de três formas diferentes: pulverização, imersão ou por espalhamento (30). A pulverização se dá utilizando métodos de pulverização tradicionais ou por "eletropulverização" em que é usado um aparelho que emprega eletricidade para dispersar um líquido; a imersão é geralmente utilizada em alimentos em que é necessário a aplicação de uma camada mais espessa. Esse método é utilizado de modo a melhorar a qualidade de propriedades físico-químicas. Na técnica de espalhamento, a aplicação do revestimento é feita pincelando o alimento com o revestimento.

As vantagens dos revestimentos comestíveis incluem compostos que são biodegradáveis e podem ser usados com alimentos, preservam as propriedades da fruta quando revestidas, melhoram o valor nutricional e as propriedades organolépticas da fruta por ser um meio de transporte de compostos ativos. Além disso, por serem derivados de produtos naturais encontrados na natureza, são fáceis de encontrar e não trazem custos para o fabricante (30).

Lopes et al., (31), concluíram em seu estudo em conservação de goiabas, que o uso dos revestimentos comestíveis de caseína e amido é eficiente na redução de perda de massa das goiabas. A adição do extrato de barbatimão nos revestimentos comestíveis de amido e caseína proporcionou uma maior conservação da firmeza e sua coloração, evitando seu

amarelecimento e clareamento. Sendo assim temos a opção de utilização do barbatimão associado aos revestimentos comestíveis, pois apresentou potencial para uma melhor conservação de goiabas.

Segundo Costa et al., (32), pode ainda ser utilizado o revestimento comestível de amido de mandioca, que tem apresentado na última década resultados promissores na conservação de frutos e hortaliças, aumento a vida de prateleira dos produtos, garantindo os aspectos nutricionais e bioativos. Ressaltam ainda a importância de conhecer a estrutura da matéria prima para a composição da embalagem biodegradável, que deve ser compatível com os produtos que contêm, sendo sensorialmente neutros para não influenciar na qualidade sensorial dos produtos.

Os revestimentos comestíveis devem atender a vários requisitos como propriedades de barreira satisfatórias para água, gases e outras substâncias de interesse; solubilidade em água e gordura; cor e aparência adequadas; propriedades mecânicas e reológicas. Outra característica fundamental para um revestimento comestível é que não seja tóxico quando aplicado em frutas e legumes frescos, inteiros ou minimamente processados. Produtos frescos são bem sensíveis à perda de água, que causam enrugamento, perda de turgescência e deterioração da textura, por isso é importante ter condições satisfatórias para água, gases e outras substâncias de interesse (33, 34).

Mais importante ainda, os revestimentos podem ser usados com segurança em produtos embalados e são capazes de proteger os alimentos contra danos microbianos e mecânicos (35, 36, 37).

Perdas Pós-Colheita de frutíferas no Brasil

Desde a última década, o Brasil deixou de importar alimentos para se tornar um dos maiores exportadores de produtos agrícolas do mundo. Atualmente, é considerado o terceiro produtor mundial de frutas, com uma produção de mais de 40 milhões de toneladas ao ano, atrás apenas da China e Índia (38).

Em consequência disso, o país se tornou autossuficiente no abastecimento da maior parcela dos hortifrúteis, garantindo fornecimento contínuo à população. No entanto, as perdas pós-colheita são expressivas, sendo estimadas em 40-50% da produção (39). Enquanto em países como os Estados Unidos as perdas não ultrapassam 10% (40). Assim, o grande volume de perdas na produção brasileira representa um desperdício de recursos, como terra, água, energia e insumos (41), e alto prejuízo econômico para o setor varejista, correspondendo em média a 600 milhões de reais por ano (42).

Em regiões tropicais como é o caso do Brasil, as perdas pós-colheita são mais acentuadas, devido às condições ambientais com temperaturas elevadas e umidade que aceleram o metabolismo dos frutos, e que aliados a ausência de uma cadeia de frio eficiente durante a comercialização, comprometem a conservação adequada do produto (42).

Diversos fatores podem influenciar as perdas pós-colheita, dentre os mais importantes destacam-se a injúrias mecânicas provocadas por embalagens inadequadas e manuseio incorreto, que geralmente começam na propriedade rural, durante a classificação e seleção dos produtos, estendendo-se até os consumidores intermediários e finais, constituindo os principais problemas da cadeia produtiva (40). Esses fatores prejudicam a comercialização das frutas, uma vez que os aspectos físicos dos produtos podem determinar os preços de compra e venda (42).

Na maioria das vezes os ferimentos gerados durante a colheita ou manipulação dos frutos tornam-se uma porta de entrada para microrganismos, como fungos e bactérias. Ao

penetrarem, esses microrganismos ocasionam a podridão dos frutos, pois sua ação está relacionada à alterações nas características físicas, químicas, sensoriais e visuais, levando à perdas na produtividade e consequentemente reduzindo a vida de prateleira dos produtos (43).

Desta forma, a utilização de coberturas ou revestimento comestível surge como uma alternativa promissora para elevar a vida em pós-colheita de frutas e legumes. Essas coberturas ou filmes como também são conhecidas, não possuem a função de substituir os métodos tradicionais de conservação, como a utilização do frio ou embalagens protetoras, mas sim funcionar como um aditivo, contribuindo para melhorar a conservação dos frutos, preservando sua textura e valor nutricional, além de reduzir as trocas gasosas com o meio e as perdas ou ganho de água (44).

Taxas de exportação e importância econômica de revestimentos comestíveis

A pandemia da COVID-19 criou oportunidades para muitos empreendedores privados entrarem no mercado para atender ao aumento da demanda por alimentos. Isso, por sua vez, beneficiou os fabricantes de ingredientes alimentícios, incluindo revestimentos. A necessidade de lanches inovadores tem sido consistentemente alta nos países desenvolvidos devido ao armazenamento, utilização e entrega rápida de nutrientes e energia após o consumo. Consequentemente, tais fatores impulsionam o mercado em tempos turbulentos. As vendas de frutas e vegetais aumentaram no ano encerrado em 2020, quando surgiu a demanda por alimentos nutritivos. Portanto, apoiou o uso de filmes e coberturas comestíveis (45).

O revestimento comestível é uma tecnologia ecológica usada em muitos produtos para controlar a transferência de umidade, troca gasosa ou processos de oxidação. Uma vantagem importante do uso de filmes e revestimentos comestíveis é que vários ingredientes ativos podem ser adicionados à matriz polimérica e ingeridos com alimentos, o que aumenta a segurança ou mesmo as propriedades nutricionais e sensoriais (45).

O setor de frutas do Brasil bateu recorde ao atingir a marca de US \$1 bilhão em exportações de frutas em 2021. O cenário de exportação ficou dessa forma, a manga com 272,5 mil toneladas de fruta, aumentando 12% em relação à 2020, a maçã teve crescimento de 79%, com 58% em relação a 2020. Ao todo, foram embarcadas 99 mil toneladas de manga ao mercado internacional, aproximadamente 70% dos envios das frutas brasileiras (46).

Frutas e hortaliças são alimentos frescos com grande variedade, principalmente em países tropicais como o Brasil. São alimentos ricos em nutrientes, fonte de vitaminas, carboidratos, fibras e minerais, compostos bioativos e baixo teor calórico. Estas propriedades beneficiam a saúde e desempenham um papel importante no crescimento, manutenção e desenvolvimento do corpo humano (47).

O volume total de frutas exportado em janeiro de 2021 foi de 84,91 mil toneladas, abaixo 5,06% em relação a janeiro do ano anterior, e o valor auferido foi de US \$67,84 milhões, 6,5% abaixo para o mesmo período. Destaque para o crescimento do volume das exportações de melancias e mangas e queda para limões e limas, bananas, melões e mamões. Foram exportadas 8,91 mil toneladas de frutas em janeiro de 2021, 5,06% a menos que em janeiro de 2020, e o valor agregado foi de 67,8 milhões de dólares, 6,5% a menos que no mesmo período. Destaca-se o aumento das exportações de melancia e manga em e a queda das exportações de limões e limas, bananas, melões e mamões (48).

Os revestimentos preservam efetivamente a qualidade dos produtos e reduzem significativamente o uso de plástico. Além disso, esse desenvolvimento pode ser destinado

ao uso de outros alimentos com efeitos conservantes ou antimicrobianos para prolongar a vida útil da fruta e juntos transportar esses efeitos benéficos ao consumidor (49).

Com isso, a indústria alimentícia pode contar com uma alternativa natural vantajosa para embalar diversos tipos de alimentos, minimizando as perdas pós-colheitas de forma segura. Esta técnica também mantém o sabor, o frescor, a aparência e a qualidade nutricional de frutas e vegetais, além de contribuir com o planeta, reduzindo o impacto ambiental que o descarte das embalagens plásticas causa ao nosso meio ambiente. (49).

CONCLUSÕES

Diversos fatores podem determinar a qualidade dos produtos naturais, dentre os mais importantes estão as propriedades organolépticas e nutricionais, bem como as condições de higiene, que na maioria das vezes estão relacionadas com o processo de armazenamento e comercialização. O uso de coberturas comestíveis tem propiciado resultados positivos, como uma prática auxiliar na conservação de produtos perecíveis, principalmente dos alimentos minimamente processados, cujo tempo de prateleira é mínimo em função dos processos pelos quais esses produtos foram submetidos.

A adesão às coberturas comestíveis ainda se encontra em fase de desenvolvimento, mas espera-se que a utilização desta tecnologia aumente significativamente nos últimos anos, em virtude do surgimento de novos biopolímeros, aumento no número de pesquisas sobre o assunto e interesse do setor produtivo e de transporte. Portanto, é esperado que o uso de revestimentos comestíveis se torne uma prática de rotina na conservação de alimentos, principalmente os de origem tropical.

REFERÊNCIAS

- (1) Matta E, Tavera-quiroz MJ, Bertola N. Active edible films of methylcellulose with extracts of green apple (Granny Smith) skin. 2019; 124: 1292-1298.
- (2) Burdock GA, Carabin IG. Generally recognized as safe (GRAS): history and description. Toxi Letters. 2004; 150: 3-18.
- (3) Leite AR. Controle da deterioração fúngica em morangos utilizando Extratos brutos vegetais, frente ao fungo botrytis cinerea (monografia). Campo Mourão: Universidade Tecnológica Federal do Pará; 2021.
- (4) Hassan B, Chatha SAS, Hussain AI, Zia KM, Akhtar N. Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review. International Jour of Biol Macromolecules. 2018; 109: 1095-1107.
- (5) Singh V, Hedayetullah M, Zaman P, Meher J. Postharvest technology of fruits and vegetables: an overview. Journal of Postharvest Technology. 2014; 02: 124-135.
- (6) Magalhães DS. Desenvolvimento e maturação de frutos de pitaia vermelha de polpa branca (Dissertação). Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2017.

- (7) Barry CS, Giovannoni JJ. Ethylene and fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*. 2007; 26: 143-159.
- (8) Parreidt TS, Schmid M, Muller K. Effect of immersion and vacuum impregnation techniques with alginate-based coating on the physical quality parameters of Cantalupo melon. *Journal of Food Science*. 2018; 83: 929-936.
- (9) Villadiego AMD, Soares, NFF, Andrade NJ, Puschmann R, Minim VPR, Cruz R. Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. *Revista Ceres*. 2005; 52: 221–244.
- (10) Paidari S, Zamindar N, Tahergorabi R, Kargar M, Ezzati S, Shirani N, Musavi SH. Edible coating and flms as promising packaging: a mini review. *Journal of Food Mea and Charac*. 2021; 15: 4205-4214.
- (11) Yan Q, Hou H, Guo P, Dong H. Effects of extrusion and glycerol content on properties of oxidized and acetylated corn starch-based films. *Carbohydrate Polymers*. 2012; 87: 707-712.
- (12) FRATARI, Silvio Cesar et al. Revestimentos comestíveis para conservação pós colheita de banana: uma revisão. Verruck, S. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 4, p. 444-467, 2021.
- (13) Fonseca LABV. *Fruticultura Brasileira: Diversidade e sustentabilidade para alimentar o Brasil e o Mundo* [Internet]. 2022 [15 de dez 2022]. Disponível em: <https://cnabrazil.org.br/noticias/fruticultura-brasileira-diversidade-e-sustentabilidade-para-alimentar-o-brasil-e-o-mundo>.
- (14) Lima CC. Ceará se destaca como produtor e exportador de frutas [Internet]. 2020 [acesso em 01 jan 2023]. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/agronegocio/ceara-se-destaca-como-produtor-e-exportador-de-frutas/>.
- (15) Geraldini F, Deleo JPB, Barbieri MG, Moreira MM, Boteon M, Barros, GSC. *Anuário HF Brasil: retrospectiva 2022 & perspectiva 2023* [Internet]. São Paulo: Hortifruti Brasil. 2022 [acesso em 18 dez 2022]. Disponível em: <https://www.hfbrasil.org.br/br/revista/acessar/completo/anuario-hf-brasil-retrospectiva-2022-perspectiva-2023.aspx>.
- (16) ABAFRUTAS. IBGE projeta expansão da produção de frutas no País nos próximos anos [Internet]. 2023 [acesso em 02 jan 2023]. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2022/01/ibge-projeta-expansao-da-producao-de-frutas-no-pais-nos-proximos-anos/>.
- (17) Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. *Climate Change 2014: Synthesis Report*.Genebra; 2014.

- (18) Garcia DM, Dos Reis RC, Costa LM, Ferreira NMP. Uso de revestimento comestível a base de resíduo de frutas adicionado de polpa de acerola para a conservação de frutas minimamente processadas. *Brazilian Jour of Dev.* 2022; 8: 6301-3612.
- (19) Priyadarshi R, Rhim JW. Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. *Innovative Food Science and Technology.* 2020; 62: 102346.
- (20) Khuntia A, Prasanna NS, Mitra J. Technologies for Biopolymer-Based Films and Coatings. *Biopolymer-Based Food Packaging: Innovation and Technology Applications.* 2022; 3: 66-109.
- (21) Cazón P, Vázquez M, Velázquez G. Cellulose-glycerol-polyvinyl alcohol composite films for food packaging: Evaluation of water adsorption, mechanical properties, light-barrier properties and transparency. *Carbohydrate Polymers.* 2018; 195: 432-443.
- (22) Ribeiro AM, Estevinho BN, Rocha F. Preparation and Incorporation of Functional Ingredients in Edible Films and Coatings. *Food Bioprocess Technology.* 2021; 14: 209-231.
- (23) Nair MS, Tomar M, Punia S, Kukula-Koch W, Kumar M. Enhancing the functionality of chitosan- and alginate-based active edible coatings/films for the preservation of fruits and vegetables: A review. *International Journal of Bio Macromolecules.* 2020; 164: 304-320.
- (24) Costa F, Braga RC, Bastos MSR, Dos Santos DN, Frota MM. Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (manihot esculenta) em produtos vegetais: uma revisão. *Research Society and Development.* 2022; 11: 1-13.
- (25) Jafarzadeh S, Nafchi AM, Salehabadi A, Oladzad-abbasabadi N, Jafari SM. Application of bio-nanocomposite films and edible coatings for extending the shelf life of fresh fruits and vegetables. *Advances in Chemistry and Food Science.* 2021; 291: 102405.
- (9) Villadiego AMD, Soares, NFF, Andrade NJ, Puschmann R, Minim VPR, Cruz R. Filmes e revestimentos comestíveis na conservação de produtos alimentícios. *Revista Ceres.* 2005; 52: 221-244.
- (26) Rocha GO, Farias MG, Carvalho CWP, Ascheri JLR, Galdeano MC. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. *Polímeros.* 2014; 24: 587-595.
- (27) Bakshi OS, Selvakumar D, Kadirvelu K, Kumar NS. Chitosan as an environment friendly biomaterial - a review on recent modifications and applications. *International Journal of Bio Macromolecules.* 2020; 150: 1072-1083
- (28) Costa MJ, Maciel LC, Teixeira JA, Vicente AA, Cerqueira MA. Use of edible films and coatings in cheese preservation: Opportunities and challenges. *Food Research International.* 2018; 107: 84-92.
- (29) Ortiz-Duarte G, Pérez-Cabrera LE, Artéz-Hernández F, Martínez-Hernández GB. Ag-chitosan nanocomposites in edible coatings affect the quality of fresh-cut melon. *Postharvest Biology and Technology.* 2019; 174: 174-184.







- (30) Dhumal CV, Sarkar P. Composite edible films and coatings from food-grade biopolymers. *J Food Sci Technol*. 2018; 55: 4369-4383.
- (31) Lopes AR, Dragunski DC, Caetano J, Francisco CB, Bonfim-Junior LF. Conservação de goiabas com revestimentos comestíveis de amido e caseína com extrato de barbatimão. *Eng na Agricultura*. 2018; 26: 295-305.
- (32) Costa F, Braga RC, Bastos MSR, Dos Santos DN, Frota MM. Revestimentos comestíveis à base de fécula de mandioca (manihot esculenta) em produtos vegetais: uma revisão. *Research, S and Dev*. 2022; 11: 1-13.
- (33) Arquelau PBF, Silva VDM, Garcia MAVT, De Araújo RLB, Fante CA. Characterization of edible coatings based on ripe “Prata” banana peel flour. *Food Hydrocolloids*. 2019; 89: 570-578.
- (34) Chakravartula SSN, Cevoli C, Balestra F, Fabbri A, Rosa MD. Evaluation of drying of edible coating on bread using NIR spectroscopy. *J of F Engi*. 2019; 240: 29-37.
- (35) Arnon-Rips H, Porat R, Poverenov E. Enhancement of agricultural produce quality and storability using citralbased edible coatings; the valuable effect of nano-emulsification in a solidstate delivery on fresh-cut melons model. *F Chemistry*. 2019; 277: 205-212.
- (36) Dehghani S, Hosseini SV, Regenstein JM. Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food Chem*. 2018; 240: 505-513.
- (37) Spasojević L, Katona J, Bučko S, Savić SM, Petrović L, Milinković Budinčić J, et al. Edible water barrier films prepared from aqueous dispersions of zein nanoparticles. *LWT*. 2019; 109: 350-358.
- (38) Kist BB, de Carvalho C, Beling RR. *Anuário Brasileiro de Horti&Fruti*. Santa Cruz do Sul: Gazeta; 2021.
- (39) Magnoni-Junior L, Massambani O, Stevens D, da Silva WTL, do Vale JMF, Purini SRM. *JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil*. São Paulo: Centro Paula Souza; 2017.
- (40) Guerra AMNM, Costa ACM, Ferreira JBA, Tavares PRF, Vieira TS. Perdas pós-colheita em hortaliças provocadas por danos na rede varejista de Santarém-PA. *RBAS*. 2018; 8: 106-114.
- (41) Spagnol WA, Silveira-junior V, Pereira E, Filho-Guimarães N. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. *BJFT*. 2018; 21: 1-10.
- (42) Teixeira IS, Rufino MSM, Pinto CM, de Almeida AOG. Causas de perdas pós-colheita em cultivares de tomates comercializados na Ceasa, Ceará. *Revista Verde*. 2022; 17: 135-142.

- (43) Oliveira JCF. Efeito no revestimento de própolis verde na qualidade de frutas de mamão formosa (*Carica papaya* L) [monografia]. Mato Grosso: Universidade Federal de Mato Grosso; 2018.
- (44) Gomes IR, Resende ÉD, do Amaral DP. Uso de revestimento ativo em frutos: uma tecnologia emergente. CIAGRO. 2020; 1: 1-14.
- (45) MordorIntelligence. Mercado global de filmes comestíveis e revestimentos - crescimento, tendências, impacto do covid-19 e previsões (2021 - 2026) [internet]. 2023 [acesso em 10 jan 2023]. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/edible-films-and-coating-market>.
- (46) ABRAFRUTAS. Manga foi a fruta mais exportada pelo Brasil em 2021 [internet]. 2023 [acesso em 10 jan 2023]. Disponível em: <https://abrafrutas.org/2022/01/manga-foi-a-fruta-mais-exportada-pelo-brasil-em-2021/>.
- (47) Silva SLR. Interferentes no consumo de frutas e hortaliças de usuários do programa academia da saúde [Dissertação]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Enfermagem; 2019.
- (48) Companhia Nacional de Abastecimento-CONAB. Boletim Hortigranjeiro. Brasília: PROHORT; 2021.
- (49) Sousa A, Carvalho S, Plácido GR. Embalagens Comestíveis para frutas e vegetais: aspecto de segurança de alimentos [Internet]. 2022 [24 de fev de 2023]. Disponível em: <https://foodsafetybrazil.org/embalagens-comestiveis-para-frutas-e-vegetais-aspectos-de-seguranca-de-alimentos/>.

Capítulo 27

Doi.org/10.53934/9786599965814-27

ASPECTOS ETNOBOTÂNICOS, ATIVIDADES BIOLÓGICAS E CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA DO MASTRUZ (*Chenopodium ambrosioides*): UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Vinícius Araújo de Oliveira *; Paloma Andrade Santos Araújo ; Marcio Michael Pontes ; Nathalia Alexandre Eloy Lins ; Gisele Nayara Bezerra da Silva ; Rosângela Estevão Alves Falcão 

*Vinícius Araújo de Oliveira – Email: viniciusaraujosbu@gmail.com

Resumo: O potencial químico e biológico das plantas medicinais vem sendo usado pela humanidade há muito tempo no tratamento de diversas enfermidades, a Etnobiologia estuda essa relação entre as pessoas e o uso dos recursos naturais. A planta *Chenopodium ambrosioides* L. é uma planta herbácea popularmente conhecida como mastruz ou erva-de-santa-maria é conhecida na medicina popular como um remédio natural para dores de estômago, vermes, gripes e tosses e etc. Sua caracterização fitoquímica indicou como classe majoritária dos óleos essenciais a dos monoterpenos, como o ascaridol. Para os extratos aquosos e de solventes orgânicos às classes mais encontradas foram as dos compostos fenólicos e flavonóides, também se encontram taninos, catequinas, alcalóides, esteróides e triterpenos. A extração dos compostos depende do solvente utilizado. Em relação ao estudo de suas atividades biológicas foram encontradas as seguintes: anti-helmíntica, inseticida, larvicida, antioxidante, antimicrobiana, antitumoral e anti-biofilme. O presente trabalho buscou por meio de uma revisão de literatura mostrar estudos atualizados do potencial bioativo conhecido de *C. ambrosioides* e estimular novas pesquisas sobre a planta.

Palavras-chave: *Chenopodium ambrosioides*. fitoquímica. etnobiologia. bioatividade

Abstract: The chemical and biological potential of medicinal plants has been used by mankind for a long time in the treatment of various diseases, Ethnobiology studies this relationship between people and the use of natural resources. The plant *Chenopodium ambrosioides* L. is a herbaceous plant popularly known as mastruz or *herba sanctæ Mariæ* is known in folk medicine as a natural remedy for stomach aches, worms, flu and coughs and so on. Its phytochemical characterization indicated monoterpenes as the majority class of essential oils, such as ascaridol. For aqueous extracts and organic solvents, the most common classes were those of phenolic compounds and flavonoids, tannins, catechins, alkaloids, steroids and triterpenes were also found. The extraction of compounds depends on the solvent used. Regarding the study of its biological activities, the following were found: anthelmintic, insecticide, larvicide, antioxidant, antimicrobial, antitumor and anti-biofilm. The present work sought, through a literature review, to show updated studies of the known bioactive potential of *C. ambrosioides* and to stimulate new research on the plant.

Key Word: *Chenopodium ambrosioides*. phytochemistry. ethnobiology. bioactivity

INTRODUÇÃO

Muito se fala atualmente do potencial biológico e farmacológico de plantas para o desenvolvimento de novos fármacos ou como tratamento complementar ou alternativo. Esse novo olhar atencioso para as propriedades químicas e biológicas das plantas se dá tanto pelo aumento de novas tecnologia e métodos que permitem o estudo aprofundado e a caracterização desses compostos em atividades, quanto pela necessidade do desenvolvimento de novos medicamentos para os quais microrganismos patógenos e parasitos ainda não tenham resistência como afirmam Silva e Nogueira (1) e Fenalti et al. (2).

Muitas dessas plantas utilizadas são utilizadas como medicinais, pois esse conhecimento é passado por diferentes comunidades rurais e urbanas que fazem uso das plantas como tratamento complementar como afirmado por De Oliveira et al (3). Esse hábito de uso da planta como remédio na medicina popular é estudado por duas áreas da etnobiologia: a etnobotânica e a etnofarmacologia.

A etnobotânica pode ser definida como a ramificação da etnobiologia que estuda a relação entre as pessoas e as plantas que elas usam como recursos e como são utilizadas, conceito definido por Rocha, Boscolo e Fernandes (4). Já a etnofarmacologia pode ser definida como o estudo complexo do potencial bioativo de plantas e animais utilizados na medicina popular de diversas sociedades humanas, conforme Elizabetsky (5).

Dentre as plantas comumente citadas como medicinais algumas famílias se destacam, sendo uma delas a Amaranthaceae. No Brasil está representada por 145 espécies divididas em 19 gêneros segundo Fank-de-Carvalho et al (6). A principal planta medicinal dessa família é conhecida popularmente como erva-de-santa-maria, mastruz ou mentruz e de nome científico *Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants e/ou o seu sinônimo *Chenopodium ambrosioides* (L.), Conforme os dados da plataforma ReFlora (7).

A *Chenopodium ambrosioides* é uma planta herbácea de até um metro de altura conhecida por ser utilizada na medicina popular para o combate a pulgas, piolhos, vermes, úlceras e diversas outros usos como repelente e no combate de outras enfermidades e males, como descrito por Costa e Tavares (8).

Essas diversas atividades biológicas observadas podem ser explicadas através da caracterização fitoquímica dos metabólitos secundários da planta. A investigação e identificação dos compostos secundários de *Chenopodium ambrosioides* e também de outras plantas possibilita o estudo da estrutura química de diversas substâncias com potencial aplicabilidade biotecnológica e bioativa. Essa avaliação química e caracterização de produtos naturais advindos de plantas contribui para o desenvolvimento e aprimoramento de diversas áreas, como a medicina, a farmacologia, a química orgânica, ciências agrárias e etc. Como afirma Braz (9) em seu trabalho.

Levando em consideração a necessidade de reconhecimento do potencial biológico, farmacológico e etnobiológico da planta *Chenopodium ambrosioides*, o presente trabalho busca através de uma revisão de literatura evidenciar os diversos usos medicinais e populares da planta bem como identificar os principais compostos biologicamente ativos que atribuem tais propriedades medicinais conhecidas, para com isso, demonstrar a necessidade de estudos acerca da aplicabilidade da planta em diversas áreas pois já existem estudos que apresentam a *C. ambrosioides* como uma excelente alternativa para usos medicinais.

METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho foi a de revisão bibliográfica de artigos científicos publicados nos últimos dez anos (2012-2022) utilizando a base de dados pertencentes à plataforma Periódicos CAPES. Os artigos foram filtrados através da checklist do PRISMA 2020. Sendo considerados como critério de inclusão, artigos que abordassem as seguintes áreas temáticas: atividades biológicas de *Chenopodium ambrosioides*, caracterização fitoquímica de *C. ambrosioides*, etnobiologia e botânica de *C. ambrosioides*. Após a escolha, os revisores fizeram a comparação e triagem dos artigos, selecionando aqueles analisados como adequados e reavaliando os que não possuíam reciprocidade entre os revisores com as áreas abordadas. Sendo 18 artigos selecionados ao final. (tabela 1)

Tabela 1: detalhamento dos artigos selecionados para a revisão bibliográfica

Número de identificação no texto	Título do artigo	Autor(es)	Ano de publicação	Revista onde o artigo foi publicado	Áreas que o artigo abrangeu
10	Identificação Botânica e química de espécies vegetais de uso popular no rio grande do Norte, Brasil.	Félix-Silva J, Tomaz IM, Silva MG, Santos KSCR, Silva-Júnior AA, Carvalho MCRD, et al.	2012	Revista Brasileira de Plantas Mediciniais.	Aspectos botânicos e caracterização fitoquímica
11	Anatomical and histochemical analysis of Dysphania ambrosioides supported by light and electron microscopy.	Sá RD, Santana ASCO, Silva FCL, Soares LA, Randau KP.	2016	Revista Brasileira de Farmacognosia	Aspectos botânicos e caracterização fitoquímica
12	Etnobotânica de Plantas medicinais em duas comunidades do Município de Picuí, Paraíba, Brasil	Costa JC, Marinho MG.V.	2016	Revista Brasileira de Plantas Mediciniais	Etnobiologia
13	Plantas Mediciniais E pessoas com tuberculose: Descrição de Práticas de Cuidado no norte da bahia, 2017.	Freitas Neto WA, Andrade SS, Silva GD, Nery JS, Sanchez MN,	2020	Epidemiologia e Serviços de Saúde.	Etnobiologia

		Codenotti SB, et al.			
14	Abordagem etnobotânica de Plantas medicinais em uma comunidade rural do Sertão Alagoano.	Dantas JI, Torres AM.	2019	Diversitas Journal	Etnobiologia
15	Plantas Mediciniais com Ação Antiparasitária: Conhecimento Tradicional na Etnia Kantaruré, Aldeia Baixa das Pedras, Bahia, Brasil.	Santos-lima TM, Santos DRV, Souza RM, Bastos NG, Vannier- Santos MA, Nunes ES et al.	2016	Revista Brasileira de Plantas Medicinais	Etnobiologia
16	Traditional knowledge and phytochemical screening of plants used in snakebite prevention in Benin.	Dossou AJ, Fandohan AB, Omara T, Gbenou J.	2022	Bulletin of the National Research Centre	Etnobiologia, Caracterização fitoquímica
17	Etnobotânica de Plantas medicinais em Comunidades Ribeirinhas do município de manacapuru, Amazonas, Brasil.	Vásquez SP, Mendonça MS, Noda Sdo.	2014	Acta Amazonica.	Etnobiologia
18	Chemical Composition, antimicrobial, modulator and antioxidant activity of essential oil of dysphania ambrosioides (L.) Mosyakin & Clemants.	Almeida Bezerra JW, Rodrigues Costa A, de Freitas MA, Rodrigues FC, de Souza MA, da Silva AR, et al.	2019	Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases.	Caracterização fitoquímica e atividades biológicas

19	Extraction optimization, total phenolic, flavonoid contents, HPLC-dad analysis and diverse pharmacological evaluations of <i>Dysphania Ambrosioides</i> (L.) Mosyakin & Clemants.	Zohra T, Ovais M, Khalil AT, Qasim M, Ayaz M, Shinwari ZK. Natural Product Research.	2018	Natural Product Research	Caracterização fitoquímica
20	Phytoconstitutes investigation of <i>Chenopodium ambrosioides</i> Linn. and gas chromatography with mass spectroscopy material analysis.	Abdulkader OM, Sharaf A-EA, Fouda HM, Elhaw MH.	2022	Materials Today: Proceedings.	Caracterização fitoquímica
21	In vitro antimicrobial and antimycobacterial activity and HPLC-dad screening of phenolics from <i>Chenopodium ambrosioides</i> L.	Jesus RS, Piana M, Freitas RB, Brum TF, Alves CFS, Belke BV, et al.	2018	Brazilian Journal of Microbiology	Caracterização fitoquímica
22	Eficácia de <i>Chenopodium ambrosioides</i> (erva-de-santa-maria) no controle de endoparasitos de <i>Coturnix japonica</i>	Vita GF, Ferreira I, Pereira MAVC, Sanavria A, Aurnheimer RCM, Barbosa CG et al	2015	Brazilian Journal of Veterinary Research	Atividade biológica
23	<i>Chenopodium ambrosioides</i> L. essential oil and ethanol extract on control of canine <i>Ancylostoma</i> spp	Monteiro JNM, Archanjo AB, Passos GP, Costa AV, Porfirio LC, Martins IVF	2016	Semina: Ciências Agrárias	Atividade biológica

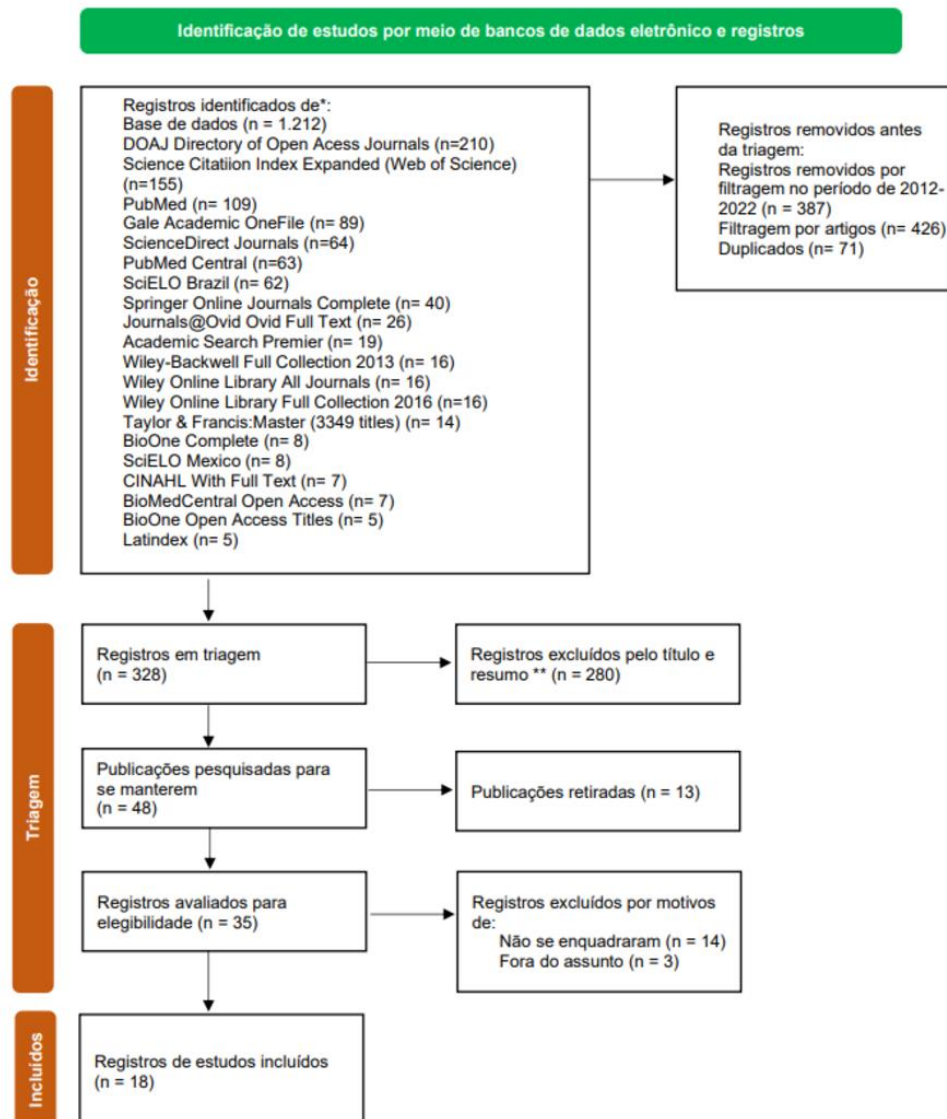
24	Insecticidal Effects of Ethanolic Extracts of <i>Chenopodium ambrosioides</i> , <i>Piper nigrum</i> , <i>Thymus vulgaris</i> , and <i>Origanum vulgare</i> against <i>Bemisia tabaci</i>	Vite-Vallejo O, Barajas-Fernández M, Saavedra-Aguilar M, Cardoso-Taketa A.	2018	BioOne Complete	Atividade biológica e caracterização fitoquímica
25	Extratos de Erva-de-Santa-Maria na saúde pública: controle do vetor de arboviroses	Pinto LAP, da Cruz ILS, Dias TD, Faria APC, Gonçalves SJC, Maleck M	2019	Revista Pró-UniverSUS	Atividade biológica
26	Identification of the chemical components of ethanol extract of <i>Chenopodium ambrosioides</i> and evaluation of their in vitro antioxidant and anti-tumor activities	Jiao Li, Chaojin Si, Wenjing Hong, Chaoguo Xia, Yuqi Yang, Yiting He et al	2022	Tropical Journal of Pharmaceutical Research	Atividade biológica
27	Anti-biofilm Action of <i>Chenopodium ambrosioides</i> Extract, Cytotoxic Potential and Effects on Acrylic Denture Surface	Zago PMW, Castelo-Branco SJS, Bogéa Fecury LA, Carvalho LA, Rocha CQ, Madeira PLBN et al	2019	Frontiers in Microbiology	Atividade biológica

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os artigos revisados foram selecionados por meio do diagrama de fluxo PRISMA 2020 para novas revisões sistemáticas. A representação de todo o procedimento, do início até a escolha dos artigos escolhidos, pode ser analisada na imagem abaixo (figura 1):

Figura 1 – fluxograma da checklist proposta pelo Prisma

Diagrama de fluxo do PRISMA 2020 para novas revisões sistemáticas que incluíram pesquisas apenas em bancos de dados e registros



*Considere, se possível, relatar o número de registros identificados em cada banco de dados ou registro pesquisado (em vez do número total em todos os bancos de dados/registros).

**Se foram usadas ferramentas de automação, indique quantos registros foram excluídos por um humano e quantos foram excluídos por ferramentas de automação.

From: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71

ASPECTOS BOTÂNICOS E ETNOBIOLÓGICOS

Chenopodium ambrosioides (L.) (*Dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants) é uma planta nativa da América tropical e subtropical pertencente à família Amaranthaceae. É uma planta herbácea de até um metro de altura, possui muitos ramos, suas folhas são concolores, alternadas e longas com bordas denticuladas, a planta possui um forte odor muito característico, as inflorescências são de cor esbranquiçada e as sementes são

abundantes e esféricas (figura 2), Conforme descrito por Félix-Silva et al (10). Possui tricomas glandulares e não glandulares no caule e nas folhas observados por Sá et al (11)

Figura 2: imagens de *Chenopodium ambrosioides*



Fonte: (<https://hortodidatico.ufsc.br/erva-de-santa-maria/>)

É uma planta amplamente utilizada na medicina popular na forma de chá. Costa e Marinho (12) realizaram um estudo comparando os conhecimentos sobre plantas medicinais de duas comunidades do município de Picuí - Paraíba, uma comunidade urbana e uma rural. Ambas as comunidades citaram *C. ambrosioides*, sendo mais citada na zona rural em comparação com a urbana. A maior parte da comunidade urbana indicou a planta como remédio para gastrite e gripe, enquanto a comunidade rural a indicou principalmente como remédio para a gastrite. A planta também foi citada por um menor número de pessoas em ambas as comunidades como remédio para úlceras e para ameiba.

Freitas-Neto et al (13), realizaram uma pesquisa em seu trabalho sobre as plantas medicinais utilizadas por pessoas com tuberculose no norte do estado da Bahia. Dentre as plantas medicinais citadas pelos entrevistados, a que apareceu com maior frequência foi a *Chenopodium ambrosioides*, com 23 citações. Os entrevistados atribuíram às plantas medicinais o alívio dos sintomas: tosse, expectoração, dor no peito, infecção, dor no estômago e gripe.

Dantas e Torres (14) também encontraram *Chenopodium ambrosioides* como uma das plantas mais citadas como medicinal dessa vez em uma comunidade rural do sertão do estado de Alagoas. *C. ambrosioides* ficou entre as 4 plantas mais citadas entre as 21 obtidas. A parte da planta indicada foram as folhas e o método de preparo foi na forma de chá. Foi indicada para o tratamento de vermes, tosses, febre e infecções.

Santos-Lima et al (15) fizeram um levantamento sobre plantas medicinais antiparasitárias utilizadas pela etnia indígena Kantarurê da aldeia Baixa das Pedras na Bahia. A *C. ambrosioides* aparece novamente entre as mais citadas junto a outras plantas como babosa (*Aloe vera*) e a çacatinga (*Croton argyrophyllodes*). A parte da planta utilizada foram as folhas e o método de preparo foi na forma de chá.

Dossou et al (16) investigaram as plantas utilizadas para o tratamento de picadas de cobra em Benim e *C. ambrosioides* aparece novamente como uma das mais relevantes na opinião dos entrevistados. O estudo cita que diferentes métodos de aplicação são utilizados para a maioria das plantas.

Vázquez et al (17) fizeram um levantamento sobre o uso de plantas medicinais em quatro comunidades ribeirinhas do município de Manacapuru - Amazonas. A *Chenopodium ambrosioides* teve um índice de concordância entre as 4 comunidades de cerca de 25%, sendo novamente uma das protagonistas do trabalho. 3 formas de utilização foram apresentadas, através do sumo, do chá ou xarope das folhas da planta. As recomendações de uso são contra vermes, bronquite, tosse, dor de estômago e gripe.

É perceptível pela quantidade de vezes que a *C. ambrosioides* foi mencionada que ela é amplamente conhecida e utilizada popularmente no tratamento de diferentes enfermidades. Na medicina popular são observadas várias indicações de usos para a *Chenopodium ambrosioides*, desde picada de cobras, doenças do trato respiratório e parasitos intestinais. Levando em consideração a relevância que a planta apresentou em todos os trabalhos, podemos afirmar que é uma planta muito conhecida e disseminada na medicina popular tradicional. Sendo assim uma planta com importante valor etnobiológico.

CARACTERIZAÇÃO FITOQUÍMICA

A caracterização fitoquímica pode ser feita de duas formas, qualitativa e quantitativa. A qualitativa vai indicar as classes de compostos secundários presentes na planta. Enquanto a quantitativa vai mensurar a quantidade de cada classe e especificar os compostos encontrados.

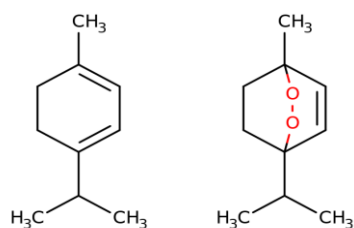
Félix-Silva et al (10) encontraram em seu estudo do extrato aquoso de *Chenopodium ambrosioides* os seguintes compostos secundários: gomas, heterosídeos senevólicos, mucilagens, fenóis, triterpenóides, carotenóides e alcalóides, taninos, cumarinas, esteróides.

Através de testes histoquímicos feitos em cortes transversais de lâminas foliares de *Chenopodium ambrosioides*, Sá et al (11) encontraram substâncias lipofílicas, óleos essenciais, oleorresinas, compostos fenólicos, amido, lignina e cristais de oxalato de cálcio.

Dossou et al (16) avaliaram a composição fitoquímica do extrato aquoso de *C. ambrosioides* e encontrou a presença de alcalóides, taninos do tipo catéquico, esteróides, saponinas e mucilagens.

Almeida-Bezerra et al (18) avaliaram a composição química do óleo essencial de *C. ambrosioides*. Encontrou 16 compostos, majoritariamente compostos da classe dos terpenos. Os dois compostos mais abundantes foram os monoterpenos α -Terpineno e o ascaridol com cerca de 54% e 15% da constituição do óleo respectivamente (figura 3).

Figura 3: fórmula estrutural do α -Terpineno a esquerda e do ascaridol do lado direito



Zohra et al (19) identificaram em seu trabalho a presença de fenólicos e flavonóides em *C. ambrosioides*. Dentre os extratos estudados, o extrato metanólico das folhas foi o que teve maior eficácia na extração de compostos fenólicos e flavonóides. Foram identificados os seguintes compostos flavonóides: rutina, quercetina e miricetina.

Abdulkader et al (20) avaliaram a constituição fitoquímica das folhas e caules de *C. ambrosioides*. Em sua análise identificou em ambos flavonoides, saponinas, fenólicos, glicosídeos, esteróides, taninos e alcalóides. Nas folhas estavam presentes glicosídeos cardíacos.

Jesus et al (21) encontraram nos testes fitoquímicos do extrato hidroalcoólico de *C. ambrosioides* a presença de cardiotônicos, antraquinônicos, taninos, alcalóides e flavonóides.

É notável que dependendo do método de análise e extração utilizado a composição fitoquímica de *C. ambrosioides* varia muito, devido a mudança de polaridade do solvente utilizado. Seu óleo essencial é rico majoritariamente em monoterpenos conhecidos por suas propriedades inseticidas e antihelmínticas. Enquanto seus extratos aquosos e hidroalcoólicos demonstraram maior presença de compostos fenólicos e flavonóides, substâncias conhecidas pela ação antioxidante. Taninos também foram encontrados em vários trabalhos (tabela 2).

Tabela 2: compostos secundários encontrados em *C. ambrosioides*.

Número de identificação do trabalho	Compostos secundários encontrados
10	gomas, heterosídeos senevólicos, mucilagens, fenóis, triterpenóides, carotenóides e alcalóides, taninos, cumarinas, esteróides.
11	substâncias lipofílicas, óleos essenciais, oleorresinas, compostos fenólicos, amido, lignina e cristais de oxalato de cálcio.
16	alcalóides, taninos do tipo catéquico, esteróides, saponinas e mucilagens.
18	α -Terpineno, ascaridol e outros terpenos
19	Compostos fenólicos e flavonóides
20	flavonoides, saponinas, fenólicos, glicosídeos, esteróides, taninos e alcalóides
21	cardiotônicos, antraquinônicos, taninos, alcalóides e flavonóides.

Nota-se, portanto, a necessidade da utilização de técnicas de isolamento de compostos para estudos mais aprofundados sobre a bioatividade de compostos químicos de *C. ambrosioides* e suas aplicações em áreas como farmacologia, biotecnologia, medicina complementar e etc

ATIVIDADES BIOLÓGICAS

Dentre os artigos selecionados para a revisão de literatura, vários deles mostraram que a *Chenopodium ambrosioides* possui princípios ativos que exercem atividades

biológicas, sendo elas: antimicrobiana, antifúngica, antioxidante, anti-helmíntica, inseticida, larvicida, anti-tumoral, anti-proliferação e anti-biofilme (tabela 3).

Tabela 3: Atividades biológicas de *C. ambrosioides* encontradas na literatura.

Número de identificação do trabalho	Atividades biológicas encontradas
18	Antimicrobiana, antifúngica, antioxidante
22 e 23	Anti-helmíntica
24	Inseticida
25	Inseticida, larvicida
26	Anti-tumoral, anti-proliferação
27	Anti-biofilme

Almeida-Bezerra et al (18) relataram que o óleo essencial de *C. ambrosioides* apresenta atividade antibacteriana em concentrações de relevância clínica sobre cepas padrão de *S. aureus* e que para cepas de *P. aeruginosa* e de *E. coli* essa ação não se mostrou eficiente. Constataram ainda que o óleo possui atividade antioxidante moderada e que em cepas multirresistentes apresentou uma ação antibacteriana moderada frente à *P. aeruginosa* e nenhuma atividade para *E. coli* e de *S. aureus*. Ainda sobre o trabalho antes mencionado, os ensaios realizados exibiram potencial antifúngico em cepas de *Candida albicans* possuindo maior eficiência comparado com o uso do fluconazol, fármaco utilizado padronizadamente.

Vita et al (22), relataram em atividade *in vivo* e *in vitro*, que o extrato alcoólico da folha da *Chenopodium ambrosioides* exibiu ação anti-helmíntica frente ao nematóide *Ascaridia* sp., um parasita causador de infecção em codornas. A ação anti-helmíntica também foi encontrada por Monteiro et al (23) onde em sua avaliação *in vitro* e *in vivo* diferenciou a eficiência do extrato etanólico e do óleo essencial, onde no teste *in vitro* respectivamente o primeiro se mostrou ineficaz frente às larvas (L3) de *Ancylostoma* spp. parasitas de cães e o segundo atingiu o potencial eficaz na concentração de 150 μ L mL⁻¹, já a avaliação *in vivo* realizada com cães mostrou que no tratamento contendo óleo essencial ocasionou a diminuição do número de ovos por gramas de fezes. Com essas duas pesquisas, podemos concluir que a ação anti-helmíntica das propriedades biológicas da *C. ambrosioides* varia de acordo com a espécie de parasita, podendo ser eficiente em forma de extrato ou de óleo essencial.

Vite-Vallejo et al (24) buscaram descobrir a eficiência do extrato etanólico da folha e caule da *C. ambrosioides* contra a *B. tabaci* (mosca-branca) e constatou que na concentração de 6% o extrato atingiu ótima eficiência matando 93% das moscas analisadas. Em outra pesquisa, desenvolvida por Pinto et al (25), a ação inseticida também foi

encontrada por extrato da mesma planta com diferentes solventes e concentrações, sendo deles o extrato hexânico possuindo ação de mortalidade em 100% das larvas L3 de *Aedes aegypti*. O fato da planta mostrar um grande potencial inseticida à torna muito importante, pois muitos insetos são vetores de doenças virais sendo um grande problema para a saúde pública.

De acordo com Li et al (26), a *C. ambrosioides* possui atividade antioxidante e antitumoral resultante da extração de Kaempferitrina, que em seu estudo foi identificada como o principal componente do extrato etanólico da planta. Estes resultados foram obtidos através da análise de que esse composto possui alta capacidade em eliminar a DPPH e capacidade moderada de limpar ABTS. Por meio de teste *in vitro*, essa atividade antiproliferativa da Kaempferitrina foi evidenciada em células SMMC-7721.

Analisando a atividade antibiofilme e de potencial citotóxico do extrato etanólico das folhas de *C. ambrosioides* frente a Estomatite protética associada a *Candida albicans*, um problema decorrente do uso de dentadura de acrílico, Zago et al (27) constataram que houve redução eficiente do número de células do biofilme de *C. albicans* e que não foi observado efeito citotóxico ou mudanças na coloração e textura da natureza, concluindo assim que futuramente essa planta pode vir a contribuir para o controle do problema anteriormente mencionado.

Existem muitos estudos que comprovam a eficácia das diversas atividades biológicas da *C. ambrosioides*. Apesar da sua diversidade em bioativos, estudos mais aprofundados se fazem necessários pois a planta pode trazer grandes benefícios frente a doenças que afetam a saúde pública em alta escala, a exemplo doenças arbovirais anteriormente mencionadas.

CONCLUSÕES

Chenopodium ambrosioides mostrou-se como uma das principais plantas medicinais conhecidas mundialmente, sendo um importante recurso etnobiológico. A literatura relata que seus usos populares são muitos, variando entre o tratamento de picada e doenças respiratórias até o tratamento de endoparasitas. Seu óleo essencial mostrou ser uma rica fonte de compostos secundários da classe dos terpenos, enquanto seus extratos aquosos, etanólicos e hidroalcoólicos e de outros solventes orgânicos mostraram abundância em flavonóides, alcalóides, taninos e esteróides. Pesquisas mais aprofundadas são necessárias para o isolamento de compostos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade de Pernambuco e aos órgãos de fomento Facepe e CNPq.

REFERÊNCIAS

1. Silva LO, Nogueira JM. Resistência bacteriana: Potencial de Plantas medicinais como alternativa para antimicrobianos. Revista Brasileira de Análises Clínicas. 2021;53(1).
2. Fenalti JM, Baccaga B, Mata-Santos T, Santos PC, Scaini CJ. Diversidade das plantas brasileiras com potencial anti-helmíntico . Vittalle - Revista de ciências da saúde. 2016Dec23;28(1):39–48.

3. De Oliveira GL, Rodrigues Cde, Santos PO, Silva LR, Santos AL, Belasco IC. Plantas Medicinais utilizadas Nas Pics. REVISE - Revista Integrativa em Inovações Tecnológicas nas Ciências da Saúde. 2020;5(fluxocontinuo):195–218.
4. Rocha JA, Boscolo OH, Fernandes LR. Etnobotânica: Um instrumento para valorização e identificação de potenciais de proteção do conhecimento tradicional. Interações (Campo Grande). 2015;16(1):67–74.
5. Elisabetsky Elaine. Etnofarmacologia. Cienc. Cult. [Internet]. 2003 Sep [cited 2023 Jan 08] ; 55(3): 35-36. Available from: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252003000300021&lng=en.
6. Fank-de-Carvalho SM, Marchioretto MS, Bão SN. Anatomia foliar, Morfologia e Aspectos Ecológicos das espécies da Família Amaranthaceae da reserva particular do Patrimônio Natural Cara Preta, Em Alto Paraíso, go, Brasil. Biota Neotropica. 2010;10(4):77–86.
7. Reflora. *Amaranthaceae* in Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB139867>>. Acesso em: 08 jan. 2023
8. Costa MVL, Tavares ES. Anatomia foliar de *Chenopodium ambrosioides* L. (Chenopodiaceae) – erva-de-Santa Maria. Rev. Bras. Pl. Med., Botucatu, 2006 v.8, n.3, p.63-71
9. Braz Filho, R. Contribuição da Fitoquímica para o Desenvolvimento de Um País Emergente. Química Nova. 2010;33(1):229–39.
10. Félix-Silva J, Tomaz IM, Silva MG, Santos KSCR, Silva-Júnior AA, Carvalho MCRD, et al. Identificação Botânica e química de espécies vegetais de uso popular no rio grande do Norte, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Medicinais. 2012;14(3):548–55.
11. Sá RD, Santana ASCO, Silva FCL, Soares LA, Randau KP. Anatomical and histochemical analysis of *Dysphania ambrosioides* supported by light and electron microscopy. Revista Brasileira de Farmacognosia. 2016;26(5):533–43.
12. Costa JC, Marinho MG. Etnobotânica de Plantas medicinais em duas comunidades do Município de Picuí, Paraíba, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Medicinais. 2016;18(1):125–34.
13. Freitas Neto WA, Andrade SS, Silva GD, Nery JS, Sanchez MN, Codenotti SB, et al. Plantas Medicinais E pessoas com tuberculose: Descrição de Práticas de Cuidado no norte da bahia, 2017. Epidemiologia e Serviços de Saúde. 2020;29(5).
14. Dantas JI, Torres AM. Abordagem etnobotânica de Plantas medicinais em uma comunidade rural do Sertão Alagoano. Diversitas Journal. 2019;4(1):39.
15. Santos-Lima TM, Santos DRV, Souza RM, Bastos NG, Vannier-Santos MA, Nunes ES, et al. Plantas Medicinais com Ação Antiparasitária: Conhecimento Tradicional na Etnia Kantaruré, Aldeia Baixa das Pedras, Bahia, Brasil. Revista Brasileira de Plantas Medicinais. 2016;18(1 suppl 1):240–7.
16. Dossou AJ, Fandohan AB, Omara T, Gbenou J. Traditional knowledge and phytochemical screening of plants used in snakebite prevention in Benin. Bulletin of the National Research Centre. 2022;46(1).
17. Vásquez SP, Mendonça MS, Noda Sdo. Etnobotânica de Plantas medicinais em Comunidades Ribeirinhas do município de manacapuru, Amazonas, Brasil. Acta Amazonica. 2014;44(4):457–72.

18. Almeida Bezerra JW, Rodrigues Costa A, de Freitas MA, Rodrigues FC, de Souza MA, da Silva AR, et al. Chemical Composition, antimicrobial, modulator and antioxidant activity of essential oil of *dysphania ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants. *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*. 2019;65:58–64.
19. Zohra T, Ovais M, Khalil AT, Qasim M, Ayaz M, Shinwari ZK. Extraction optimization, total phenolic, flavonoid contents, HPLC-dad analysis and diverse pharmacological evaluations of *Dysphania Ambrosioides* (L.) Mosyakin & Clemants. *Natural Product Research*. 2018;33(1):136–42.
20. Abdulkader OM, Sharaf A-EA, Fouda HM, Elhaw MH. Phytoconstitutes investigation of *Chenopodium ambrosioides* Linn. and gas chromatography with mass spectroscopy material analysis. *Materials Today: Proceedings*. 2022;61:992–7.
21. Jesus RS, Piana M, Freitas RB, Brum TF, Alves CFS, Belke BV, et al. In vitro antimicrobial and antimycobacterial activity and HPLC–dad screening of phenolics from *chenopodium ambrosioides* L. *Brazilian Journal of Microbiology*. 2018;49(2):296–302.
22. Vita GF, Ferreira I, Pereira MA, Sanavria A, Aurnheimer Rde, Barbosa CG, et al. Eficácia de *Chenopodium ambrosioides* (erva-de-santa-maria) no controle de endoparasitos de *Coturnix Japônica* (codorna japonesa). *Pesquisa Veterinária Brasileira*. 2015;35(5):424–30.
23. Monteiro JN, Archanjo AB, Passos GP, Costa AV, Porfirio LC, Martins IV. *Chenopodium ambrosioides* L. essential oil and ethanol extract on control of canine *ancylostoma* spp.. *Semina: Ciências Agrárias*. 2017;38(4):1947.
24. Vite-Vallejo O, Barajas-Fernández M, Saavedra-Aguilar M, Cardoso-Taketa A. Insecticidal effects of ethanolic extracts of *Chenopodium ambrosioides*, *Piper nigrum*, *Thymus vulgaris*, and *Origanum vulgare* against *Bemisia tabaci*. *Southwestern Entomologist*. 2018;43(2):383–93.
25. Pinto LP, Cruz IL, Dias TD, Honório NA, Gonçalves SJ, Maleck M. Extratos de Erva-de-Santa-Maria na Saúde Pública: Controle do vetor de arbovirose. *Revista Pró-UniverSUS*. 2019;10(1):102–5.
26. Li J, Si C, Hong W, Xia, C, Yang Y, He Y, et al. Identification of the chemical components of ethanol extract of *chenopodium ambrosioides* and evaluation of their in vitro antioxidant and anti tumor activities. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*. 2022;21(8):1689–97.
27. Zago PMW, dos Santos Castelo Branco SJ, de Albuquerque Bogéa Fecury L, Carvalho LT, Rocha CQ, Madeira PL, et al. Anti-biofilm action of *chenopodium ambrosioides* extract, cytotoxic potential and effects on acrylic denture surface. *Frontiers in Microbiology*. 2019;10.

Capítulo 28

Doi.org/10.53934/9786599965814-28

FENÓIS TOTAIS DE DIFERENTES EXTRATOS DAS FOLHAS DE *Senegalia bahiensis* (Benth.) Seigler & Ebinger

Alexsandro Melquiades de Góis *; Paloma Andrade Santos Araujo ; Marcio Michael Pontes ; Vinícius Araújo de Oliveira ; Rosângela Estevão Alves Falcão ; Hiram Marinho Falcão 

* Alexsandro Melquiades de Góis – Email: sandro.alex06@hotmail.com

Resumo: Os metabólitos secundários vêm sendo amplamente utilizados por desempenharem diversas ações benéficas no nosso organismo. Em contrapartida, ainda existem vários metabólitos a serem encontrados na natureza, e as plantas são fontes naturais dessas substâncias. Dentre esses metabólitos, os compostos fenólicos tem grande destaque pela sua ação antioxidante, anti-inflamatória e neuroprotetora. O objetivo desse estudo foi determinar o método extrativo mais eficiente para a extração de compostos fenólicos da folha de *Senegalia bahiensis*. Os teores de compostos fenólicos totais foram determinados pela metodologia de Folin-Ciocalteu e carbonato de sódio com finalidade de determinar esses compostos. O extrato número 6, obtido pela sonicação por 60 minutos do pó das folhas seca de *Senegalia bahiensis* em etanol a 50%, foi o que apresentou maior quantidade de fenóis totais, 195,12 mg de compostos por grama de pó seco. Vale ressaltar que todos os outros extratos também apresentaram valores significativos de compostos fenólicos, corroborando com a literatura do gênero *Senegalia*. Dessa forma, *S. bahiensis* necessita ser estudada em relação a seu potencial biológico para melhor elucidar sua ação terapêutica.

Palavras-chave: compostos fenólicos; extrato; *Senegalia bahiensis*

Abstract: Secondary metabolites have been widely used because they perform several beneficial actions in our body. On the other hand, there are still several metabolites to be found in nature, and plants are natural sources of these substances. Among these metabolites, phenolic compounds stand out for their antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective action. The aim of this study was to determine the most efficient extraction method for the extraction of phenolic compounds from *Senegalia bahiensis* leaves. The contents of total phenolic compounds were determined by the Folin-Ciocalteu methodology and sodium carbonate in order to determine these compounds. Extract number 6, obtained by sonicating the dried leaves of *Senegalia bahiensis* in 50% ethanol for 60 minutes, showed the highest amount of total phenols, 195.12 mg of compounds per gram of dry powder. It is noteworthy that all other extracts also showed significant values of phenolic compounds, corroborating the literature on the genus *Senegalia*. Thus, *S. bahiensis* needs to be studied in relation to its biological potential to better elucidate its therapeutic action.

Key Word: phenolic compounds; extract; *Senegalia bahiensis*

INTRODUÇÃO

Os metabólitos secundários estão sendo comumente pesquisados e utilizados por apresentarem várias ações benéficas no nosso corpo (1) e as plantas são enormes fontes naturais dessas substâncias por servirem para proteção das mesmas contra patógenos que as venham atacar ou herbívoros (2).

Dentre os diversos metabólitos secundários, os compostos fenólicos têm grande destaque por proporcionarem melhorias a nossa saúde, devido as suas ações antioxidante (3), anti-inflamatória (4), antimicrobiana (5), antifúngica (6) e antiviral (7). Os flavonoides, um grande grupo de metabólitos secundários da classe dos polifenóis, são subdivididos nos grupos, antoxianinas, flavonas, flavonóis, auronas, chalconas, isoflavonas e flavononas, possuem características químicas e funcionais que as distinguem entre si. (8).

Nesse sentido, em relação à identificação de novos compostos fenólicos, o gênero *Senegalia Raf*, vem ganhando grande destaque pela identificação de substâncias fenólicas em algumas espécies do gênero (9), mas em contrapartida estudos em relação a identificação de seus compostos secundários são bastante escassos (10). Na literatura são observadas pesquisas acerca de suas características morfo-anatômicas e fisiológicas, mas não são encontradas pesquisas investigando seus potenciais farmacológicos e terapêuticos (10,11).

Assim, este trabalho tem por objetivo investigar o teor de fenólicos totais presentes nos extratos das folhas de *S. bahiensis* e ao mesmo tempo descobrir qual método de confecção de extratos é o mais eficiente na extração desses compostos fenólicos.

MATERIAL E MÉTODOS

As folhas de *Senegalia bahiensis* (Benth.) Seigler & Ebinger foram coletadas nas proximidades da BR 423, cidade de Garanhuns – PE, mais precisamente na coordenada geográfica (8°52'22"S 36°28'02"W) a 964 metros do nível do mar. O material vegetal foi coletado no mês de outubro, período de aumento nos dias de calor na região semiárida. Posteriormente foram enviadas amostras da planta para serem identificadas no instituto agrônomo de Pernambuco (IPA), tendo sido realizado o tombamento com número 93946.

Após a coleta, as folhas foram limpas e secas durante uma semana em estufa à 40°C, sendo trituradas para facilitar a extração. Para a escolha do método mais eficiente de extração de compostos fenólicos, 7 gramas de folhas secas trituradas em 70 ml de solvente foram submetidas a 9 procedimentos de extração, onde tempos de sonicação variáveis e diferentes concentrações de etanol em solução aquosa foram empregados, de acordo com a tabela 1.

Tabela 1 – Diferentes procedimentos de extração de compostos fenólicos das folhas de *S. bahiensis*

Extrato	Tempo (minutos)	Solvente etanol X h20
1	30	100 x 0
2	30	70 x 30
3	30	50 x 50
4	60	100 x 0
5	60	70 x 30

6	60	50 x 50
7	90	100 x 0
8	90	70 x 30
9	90	50 x 50

Após o procedimento de extração os extratos foram submetidos ao ensaio *in vitro* para determinar o teor de fenólicos totais. O teste seguiu a metodologia de teor de fenólicos totais (12, 13) com adaptações nas concentrações utilizadas. Para o teste, é necessário preparar uma solução de Na₂CO₃ a 15% utilizando água destilada para diluição. Outro reagente necessário foi o ácido gálico que serviu como controle positivo.

O ensaio foi realizado com quantidades apropriadas de reagentes e água destilada, completando um volume final de 1 ml. O volume final do ensaio foi de 1mL, amostras de 100 µL de extrato, 2 horas protegido da luz e leitura espectrofométrica em 760nm .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a determinação dos teores dos compostos fenólicos em cada extrato, uma curva padrão, relação entre os valores de absorbâncias versus concentração, usando o ácido gálico foi construída (Figura 1).

A avaliação dos resultados determinou que todos os extratos possuem valores significativos de compostos fenólicos totais (Tabela 2). Esses valores variaram entre 105,2 à 195,12 miligramas por grama de extrato. Os dados apresentados corroboram com estudos (14, 15) onde encontraram elevados teores de compostos fenólicos em plantas do gênero *Senegalia*.

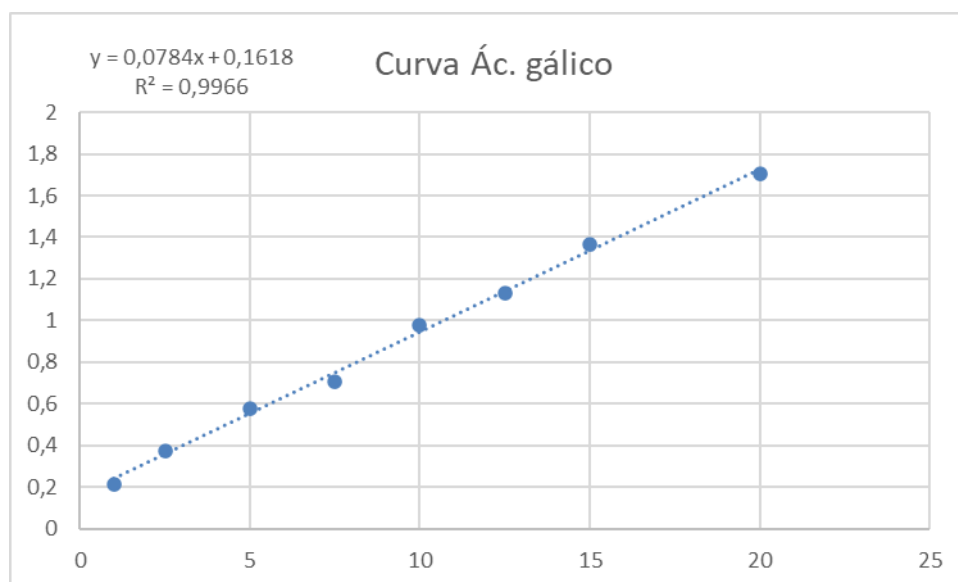


Figura 1: Curva padrão do ácido gálico em ug/ml sob absorbância de 760 nm

Tabela 2 – Quantitativo de compostos fenólicos totais presentes nos extratos de *S. bahiensis*

Extrato	Tempo (minutos)	Solvente etanol X h20	Fenólicos totais mg/g de extrato
1	30	100 x 0	105,2
2	30	70 x 30	144,48
3	30	50 x 50	154,18
4	60	100 x 0	118,08
5	60	70 x 30	148,31
6	60	50 x 50	195,12
7	90	100 x 0	143,34
8	90	70 x 30	168,34
9	90	50 x 50	123,82

Dos resultados obtidos e demonstrados na tabela 2, o que apresentou menor resultado foi o extrato 1, com 105,2 mg de fenólicos por grama de extrato e o que apresentou maior resultado foi o extrato 6, com 195,12 mg de fenólicos por grama de extrato. Extratos submetidos à sonicacão durante 30 minutos apresentam teores de fenólicos mais baixos do que outros métodos extrativos (16), onde também a quantidade de fenólicos pode sofrer alteracão dependendo do solvente extrator que se está utilizando para confecção dos extratos (17).

Dessa forma, é possível observar que os extratos com o mesmo tipo de solvente quando aumentado o valor em minutos no sonicador, a quantidade de fenólicos aumenta, excetuando apenas o extrato 9, onde seu valor diminuiu em uma quantidade maior de minutos no equipamento (Tabela 2).

CONCLUSÕES

Os extratos das folhas de *S. bahiensis* apresentaram compostos fenólicos em sua composicão. O extrato 1 apresentou menor quantidade enquanto que o extrato 6 apresentou maior quantidade de compostos sendo este o mais recomendável a ser utilizado em futuros ensaios envolvendo a planta.

Outras investigacões precisam serem feitas a fim de melhor elucidar esses compostos e descobrir eficácias que eles podem apresentar.

AGRADECIMENTOS

Ao grupo de pesquisa em produtos naturais do LABEA.

REFERÊNCIAS

1. Cunha, Amanda Lima, et al. "Os metabólitos secundários e sua importância para o organismo." *Diversitas Journal* 1.2 (2016): 175-181.
2. Vizzotto, Márcia, A. C. R. Krolow, and Gisele Eva Bruch Weber. "Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância." *Embrapa Clima Temperado- Documentos (INFOTECA-E)* (2010).

3. Silva, Marília Lordêlo Cardoso, et al. "Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais." *Semina: Ciências Agrárias* 31.3 (2010): 669-681.
4. Séfora-Sousa, M., and De Angelis-Pereira. "Mecanismos moleculares de ação anti-inflamatória e antioxidante de polifenóis de uvas e vinho tinto na aterosclerose." *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais* 15 (2013): 617-626.
5. Bueno, Laysa Pimenta. "Avaliação da capacidade antioxidante e antimicrobiana dos compostos fenólicos presentes em cranberry (*vaccinium macrocarpon*) desidratada e em medicamento fitoterápico usado na prevenção de infecções do trato urinário." (2019).
6. Souza, Michele Moraes de, et al. "Avaliação das atividades antifúngicas e antimicotoxinas de extratos fenólicos de farelo de arroz." (2012).
7. Brum, Larissa Picada. "Atividade antiviral dos compostos fenólicos (ácidos ferúlico e transcinâmico) e dos flavonoides (quercetina e kaempherol) sobre os herpesvirus bovino 1, herpesvírus bovino 5 e vírus da cinomose canina." (2006).
8. Vizzotto, Márcia, A. C. R. Krolow, and Gisele Eva Bruch Weber. "Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância." *Embrapa Clima Temperado- Documentos (INFOTECA-E)* (2010).
9. Vital, Flávio Antônio Zagotta, Adriana Tiemi Nakamura, and Vanessa Terra. "Aspectos morfoanatômicos de *Senegalia angico* (Mart.) Seigler & Ebinger.(Leguminosae): uma abordagem taxonômica." *Acta Biológica Catarinense* 6.4 (2019): 73-82.
10. Miller, Joseph T., e outros. "Filogenética molecular de *Parasenegalia* e *Pseudosenegalia* (Fabaceae: mimosoideae)." *Systematic Botany* 42.3 (2017): 465-469.
11. Duarte, Ana Flávia Trabuco, et al. "Morfologia do pólen de *Senegalia* Raf. espécies e gêneros relacionados (Leguminosae: Caesalpinioideae: clado mimosoid)." *Palynology* 45.4 (2021): 627-639.
12. Sousa, Cleyton Marcos de M., et al. "Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais." *Química nova* 30 (2007): 351-355.
13. Gülçin, İlhami, et al. "Comparison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lavandula stoechas* L.)." *Food chemistry* 87.3 (2004): 393-400.
14. Vital, F. A. Z., Nakamura, A. T., & Terra, V. (2019). Aspectos morfoanatômicos de *Senegalia angico* (Mart.) Seigler & Ebinger.(Leguminosae): uma abordagem taxonômica. *Acta Biológica Catarinense*, 6(4), 73-82.
15. Cesarino, E. C., Gomes, J. D. S., Lessa, E. V., Carvalho Junior, A. R., & Vieira, I. J. (2020). Composição química e atividade antioxidante de *Acacia polyphylla* (Fabaceae). *Revista Virtual de Química*, 12(2).








16. Vicente, Nelma Ferreira de Paula, et al. "Determination of the phenolic, antioxidant and antimicrobial potential of leaf extracts of *Pereskia grandifolia* Haw." (2020).

17. Gabr, Sara, et al. "Caracterização e otimização de extratos fenólicos de espécies de Acácia em relação à sua atividade anti-inflamatória." *Sistemática Bioquímica e Ecologia* 78 (2018): 21-30.

Capítulo 29

Doi.org/10.53934/9786599965814-29

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DO PERFIL CROMATOGRÁFICO DE LOTES COMERCIAIS DE CHÁ DE CAPIM-SANTO, *Cymbopogon citratus*

José Carlos Teixeira dos Santos ^{1*}; Gabriel Maia Menezes ¹; Larissa Ivna da Costa Torres ¹; Laisa Graziely Araújo Magalhães ¹; Isabelle Bruna Menezes Ferreira Alencar ¹; Patrícia Georgina Garcia do Nascimento ²; Mary Anne Medeiros Bandeira ³

1 - Graduando(a) em Farmácia pela Universidade Federal do Ceará; 2 - Doutora em Química Orgânica pela Universidade Federal do Ceará, técnica de laboratório/fitoquímica no Horto de Plantas Medicinais Francisco José de Abreu Matos na Universidade Federal do Ceará; 3 - Professora orientadora, doutora em Química pela Universidade Federal do Ceará, Diretora do Horto de Plantas Medicinais Francisco José de Abreu Matos

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email:
josecarlosdosantos6@gmail.com

Resumo: A planta *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf é conhecida popularmente como capim-santo, capim-limão, capim-cidreira, dentre outros, variando conforme a região. A parte utilizada para fins medicinais são suas folhas aromáticas, as quais possuem formato longo e estreito, apresentando odor semelhante ao do limão. Possui ação analgésica, diurética, emenagoga, anti-reumática, sudorífera, sedativa e carminativa. É consumida na forma de chá (por infusão da planta fresca ou seca) e das folhas também é extraído um óleo essencial rico principalmente em citral e mirceno. Apesar da utilização popular medicinal, a partir dos sachês comercialmente vendidos como alimentos em supermercados, não trazem indicações terapêuticas, nem são exigidos teores adequados de constituintes químicos. A garantia da segurança e eficácia do produto que será consumido posteriormente certifica que esse oferecerá os efeitos terapêuticos associados. Logo, as amostras de Capim-santo foram submetidas a teste de controle de qualidade, por meio da Cromatografia em Camada Delgada (CCD) para identificação qualitativa do Citral, responsável pela ação medicinal. Nesse, foi observado se o produto padronizado (sachê comercial) é apto para utilização farmacêutica e terapêutica através da comparação dos perfis cromatográficos das amostras, de marcas diferentes, com a planta cultivada. Dessa forma, os extratos clorofórmicos dos chás comerciais não apresentaram nenhuma mancha após a revelação, caracterizando resultado negativo para a presença de Citral em todas as amostras, tanto nos extratos provenientes da decocção quanto da infusão. Já o extrato da planta cultivada, em forma de droga vegetal seca em temperatura ambiente, apresentou o padrão (Citral).

Palavras-chave: controle de qualidade; cromatografia em camada delgada; *Cymbopogon citratus*

Abstract: The plant *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf is popularly known as lemongrass, among others, varies by region. The part used for medicinal purposes are its aromatic leaves, which have a long and narrow shape, with a lemon-like odor. It has analgesic, diuretic, emenagoga, anti-rheumatic, sudorific, sedative and carminative action. It is consumed in the form of tea (by infusion of fresh or dried plant) and its leaves is also extracted an essential oil rich mainly in citral and myrcene. Despite the popular medicinal use, from the sachets commercially sold as food in supermarkets, they do not bring therapeutic indications, nor are adequate levels of chemical constituents required. The guarantee of the safety and efficacy of the product that will be consumed later certifies that it will offer the associated therapeutic effects. Therefore, the samples of Capim-santo were submitted to a quality control test by means of thin layer chromatography (CCD) for qualitative identification of Citral, responsible for medicinal action. In this, it was observed whether the standardized product (commercial sachet) is suitable for pharmaceutical and therapeutic use by comparing the chromatographic profiles of the samples, of different brands, with the cultivated plant. Thus, the chloroform extracts of commercial teas did not show any stain after disclosure, characterizing a negative result for the presence of Citral in all samples, both in the extracts from decoction and infusion. Already the extract of the cultivated plant, in form of dried vegetable drug at room temperature, presented the standard (Citral).

Key Word: quality control; thin layer chromatography; *Cymbopogon citratus*

INTRODUÇÃO

A planta *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf tem origem no sudoeste asiático, é pertencente à família *Poaceae* e atualmente se encontra distribuída em quase todos os continentes. No Brasil, ela é conhecida popularmente por diversas denominações, como por exemplo capim-santo, capim-limão, capim-cidreira, dentre outras, variando de acordo com a região. A principal parte utilizada para fins medicinais são suas folhas, as quais possuem um formato longo, estreito e são aromáticas, apresentando odor que se assemelha ao do limão (1).

Seu uso é indicado para a produção de efeitos calmantes e como adjuvante na melhoria de leves desconfortos intestinais e cólicas uterinas (1). Tais indicações decorrem da ação analgésica, diurética, emenagoga, anti-reumática, sudorífera, sedativa e carminativa que tal planta apresenta. É consumida na forma de chá (por infusão da planta fresca ou seca) e a partir de suas folhas também é extraído um óleo essencial rico principalmente em citral e mirceno, os quais são as substâncias responsáveis por suas propriedades medicinais e apresentam atividade antimicrobiana. Além disso, ele é usado em indústrias de cosméticos e alimentícios como aromatizante (2). Em alguns países o chá de *Cymbopogon citratus* é usado contra gripe, febre e pneumonia, embora não tenham sido realizados estudos *in vivo* e *in vitro* a respeito de tais ações, pressupõe-se, por meio de estudos de identificação fitoquímica, que há componentes em seu complexo que

possuem potencial anti-gripal (3).

As plantas possuem o metabolismo primário, responsável pela síntese de substâncias importantes para seu crescimento, e o metabolismo secundário (4). Os metabólitos secundários são os chamados princípios ativos vegetais habitualmente encontrados em variados produtos e terapias. São substâncias constituídas a partir de produtos da fotossíntese com a finalidade de defesa para a planta, é responsável pelo efeito medicinal de uma planta (5). Estes podem ser divididos em três grupos principais: os terpenoides, compostos fenólicos e compostos nitrogenados (6). Ademais, nota-se que diversos fatores podem afetar a composição química de uma espécie vegetal, como ritmo circadiano, sazonalidade, temperatura, altitude e composição atmosférica (7).

O principal constituinte do *C. citratus* é o citral (47 a 85%), formado por uma mistura dos isômeros geranial e neral (8). Inclusive, a ação terapêutica do chá de capim-santo está atribuída à presença do citral no seu fitocomplexo. Em menor proporção já foram identificados outros componentes, como canfeno, citronelal, citronelol, farnesol, geraniol, limoneno, linalol, mentol, mirceno, nerol, a-pineno, b-pineno e terpineol (8). Entre os constituintes fixos encontram-se flavonoides, saponinas e alcaloides (8).

O costume de utilizar a natureza para fins medicinais acompanha o ser humano por toda sua história. Integrante da Política Nacional de Práticas Integrativas e Complementares, a fitoterapia é reflexo de uma medicina tradicional que se beneficia da capacidade terapêutica das plantas medicinais. Nesse sentido, nota-se que o uso de chá é frequente na população brasileira, seja preparado por infusão ou por decocção, e seu emprego tem enfoque, especialmente, na capacidade terapêutica promovida por essa preparação caseira.

De acordo com Oliveira e Lucena (9), cerca de 93% dos entrevistados, em Quixadá - CE, afirmam fazer o uso de chá como fármaco, sendo o capim santo citado 48 vezes e destacando-se como uma das plantas medicinais mais utilizadas. (9). Entretanto, apesar da finalidade dos chás estar direcionada para o uso terapêutico, estes são vendidos como alimentos em supermercados, assim, não trazem indicações terapêuticas, nem são exigidos teores adequados de constituintes químicos da planta medicinal. (10).

O conjunto de parâmetros que buscam descrever a matéria prima, nesse caso vegetal, para o uso ao qual é denominado controle de qualidade. Sua caracterização qualitativa é realizada desde a colheita da planta fresca, beneficiamento da droga vegetal, extração do produto derivado até o produto fitoterápico final (11).

A relevante importância desta análise está na garantia da segurança e eficácia do produto que será consumido posteriormente, ou seja, realizar o processo de controle de qualidade garante que o produto oferecerá os efeitos terapêuticos que estão associados à ele (11).

Visto isso, as amostras de Capim-santo foram submetidas a um controle de qualidade, por meio da identificação qualitativa de Citral, composto responsável pela ação medicinal da planta e, dessa forma, foi feita a verificação da qualidade das amostras por meio da Cromatografia em Camada Delgada (CCD), em que foi observado se o produto padronizado é apto para utilização farmacêutica e terapêutica através da comparação dos perfis cromatográficos das amostras com a planta. Para garantir a qualidade das amostras de droga vegetal do Capim-Santo, a Farmacopeia Brasileira deve servir de referencial dos requisitos qualitativos mínimos (12).

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação dos extratos

Os extratos foram preparados tanto pelo método da decocção quanto pelo método da infusão. As amostras do capim santo utilizadas foram: planta seca, planta fresca e marcas do chá do capim santo. Os extratos foram preparados a 20% (10g de planta seca e fresca para 50 ml de água destilada) e para as amostras de chá à 2% (1g para 50 mL). Foram escolhidos dois lotes de cada marca para esta etapa, um para decocção, os quais foram Chá M (349), Chá R (12/21-C), Chá L (1829); Chá F (000222); Chá S (0405); Chá BC (050721), e outro para infusão, que foram Chá M (188), Chá R (10/21-A), Chá L (1814); Chá F (322); Chá S (2903); Chá BC (231221), totalizando 12 destas amostras.

As amostras de planta seca, fresca e lotes a granel (Chá S e Chá F) foram pesadas previamente na balança analítica com o uso da placa de petri e espátula de metal, e nos demais lotes foi utilizado um sachê (cerca de 1g). No procedimento da infusão, na proporção descrita, cada amostra foi transferida para um respectivo béquer e colocada na chapa aquecedora até momento da fervura, após isto, esperou-se três minutos. Na decocção, a água destilada foi levada para uma chapa aquecedora até o momento de fervura e posteriormente adicionada ao béquer com a amostra de chá, o mesmo foi mantido coberto por aproximadamente 10 min. Depois deste procedimento cada amostra foi filtrada.

Para a extração líquido-líquido, 10mL dos filtrados obtidos de cada amostra foi inserido separadamente em um funil de separação com adição de 10mL de clorofórmio e tampado. Assim foi realizado o procedimento de inverter o funil de separação várias vezes de maneira lenta, com cuidado de liberar o gás em alguns momentos.

Foi preparado um sistema, com a utilização de funil de separação, funil, algodão, agente secante (sulfato sódico anidro) e béquer. Esse sistema foi montado da seguinte forma: funil de separação foi colocado em uma argola e o funil por baixo apoiado em outra argola, o algodão disposto dentro do funil e o secante, adicionado em pequena quantidade com auxílio de uma espátula de metal, por cima do algodão, com béquer inserido por baixo do funil. Cada extração líquido-líquido obtida da amostra+clorofórmio foi submetida a este sistema e foi recolhido a camada inferior (fase aquosa) no béquer. Cada amostra foi guardada em vidro âmbar e armazenada em geladeira.

Cromatografia em Camada Delgada (CCD)

As análises cromatográficas em camada delgada (CCD) foram efetuadas em gel de sílica 60 (2-25 μm , camada de 250 μm) sobre ALUGRAM® da MACHEREY-NAGEL®. As placas foram cortadas nas dimensões apropriadas para cada análise. As amostras foram aplicadas com o auxílio de um tubo capilar à uma altura de aproximadamente 0,9 cm, com uma distância de aproximadamente 0,3 cm de uma amostra para outra; em seguida foram eluídas em cuba com uso de eluente apropriado. As revelações das substâncias nas cromatoplasmas analíticas foram realizadas por imersão em solução de vanilina sulfúrica, seguido de aquecimento em soprador térmico HL-500, da Steinel a aproximadamente 150 °C, durante alguns segundos. Na eluição foram

utilizados os solventes de qualidade P.A. (SYNTH®): hexano (Hex) e acetato de etila (AcOEt) (9:1). Para a identificação do perfil cromatográfico dos extratos por infusão e decocção para cada amostra de capim-santo, foi utilizado como padrão o Citral.

Foram obtidas quatro placas cromatográficas de sílica com as fases orgânicas dos extratos por decocção e infusão eluídos com hexano/acetato de metila (9:1) e revelados pelo método destrutivo (oxidativo) com vanilina sulfúrica. Em cada uma das placas foram colocados 1 ponto com o padrão, 1 com o extrato da planta seca e 3 pontos, um para cada chá comercial (uma placa com as marcas Chá R, Chá M e Chá L e outra placa com Chá BC, Chá F e Chá S).

Após os procedimentos experimentais, ilustrados na Imagem 1, realizou-se o cálculo do Rf (Fator de retenção) para cada banda, a partir da relação: $R_f = \text{distância percorrida pela amostra} / \text{distância percorrida pelo eluente}$.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado da análise qualitativa, obteve-se o perfil cromatográfico de três placas: cromatoplaça com os extratos da infusão dos lotes e da planta seca (Imagem 1); cromatoplaça com os extratos da decocção dos lotes e da planta seca (Imagem 2); e cromatoplaça com extratos de infusão e decocção somente oriundos da planta colhida (Imagem 3).

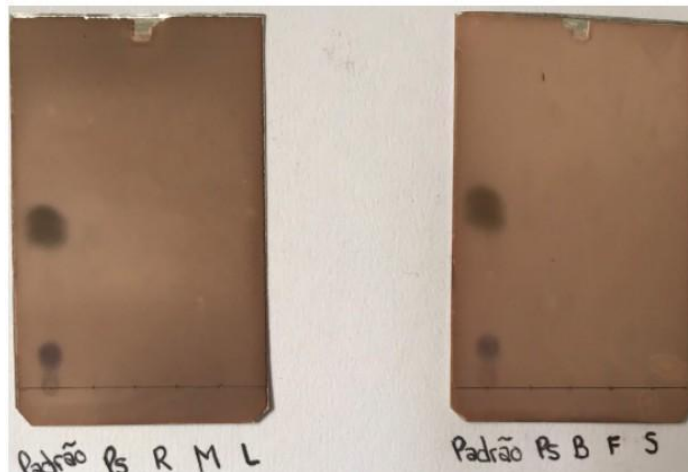
Observou-se nas placas CCD que os extratos da planta seca obtidos por decocção, apresentam manchas marrons de baixa intensidade, semelhantes ao do padrão citral. O índice de retenção (Rf) do citral na primeira placa equivale a 0,54 e o da planta seca a 0,50. Na segunda o Rf do Citral foi de 0,48 e da planta seca 0,44, confirmando em ambos a presença do Citral.

Nas placas utilizando os extratos obtidos por infusão, também foram observadas manchas marrons apenas nos extratos da planta seca, dessa vez com maior intensidade. Na primeira placa o citral obteve um Rf de aproximadamente 0,388, enquanto que, nesta mesma placa, o da planta seca obteve cerca de 0,367.

Na segunda placa o citral obteve valor de Rf aproximadamente igual a 0,360 e a planta seca obteve Rf de 0,340. A semelhança identificada pela CCD entre o padrão e os extratos obtidos por infusão (Imagem 2) foi de 92,12%, essa semelhança foi obtida pela média entre a semelhança das duplicatas (92,59% e 91,66%, respectivamente).

Já a semelhança no extrato obtido por decocção foi de 94,44% (94,58% e 94,44%). A semelhança foi obtida pela razão entre o Rf da planta seca e o Rf do padrão vezes 100.

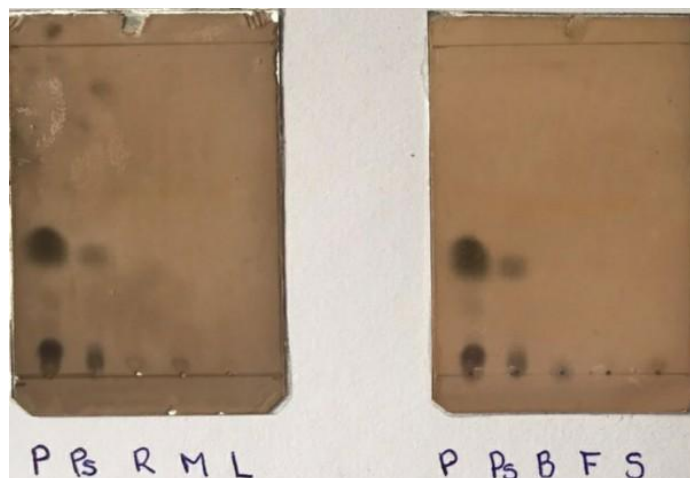
Assim, é possível identificar através da Imagem 1 e da Imagem 2 a diferença de intensidade das bandas cromatográficas, de modo que o extrato da Planta seca proveniente da decocção quase se apresenta imperceptível pela foto, contudo, sob iluminação natural apropriada foi possível calcular o Rf. Nesse sentido, isto sugere a preferência para Infusão como método extrativo. De todo modo, foi realizada CCD apenas com extratos da planta a fim de comparativo.



Ps: Planta Seca
R: Extrato R
M: Extrato M
L: Extrato L
B: Extrato BC
F: Extrato F
S: Extrato S

P ou Padrão: Óleo Essencial de Citral

Imagem 1 - Perfil cromatográfico dos extratos de decocção dos lotes e da planta seca



Ps: Planta Seca
R: Extrato R
M: Extrato M
L: Extrato L
B: Extrato BC
F: Extrato BC
S: Extrato S

P ou Padrão: Óleo Essencial de Citral

Imagem 2 - Perfil cromatográfico dos extratos de infusão dos lotes e da planta seca

Após a identificação por CCD do citral na planta seca retirada do Horto de Plantas Medicinais Prof. Francisco José de Abreu Matos, foi realizada a produção de mais uma placa cromatográfica pelo mesmo método, agora comparando fases orgânicas dos extratos da planta seca e da planta fresca extraídos por decocção e infusão, conforme Imagem 3.

Observou-se a presença de uma mancha marrom em todos os extratos, e todos tiveram o mesmo valor de fator de retenção ($R_f \sim 0,320$) em relação ao do padrão ($R_f \sim 0,340$). A semelhança entre os extratos e o padrão foi de 94,18%.

Além disso, nota-se certa homogeneidade em relação à intensidade das bandas, apenas com uma tonalidade levemente mais fraca quanto aos extratos de decocção, principalmente ao da planta fresca, o que é possível perceber pela fraca delimitação periférica da mancha.



P: Padrão
IPs: Infusão da planta seca
IPF: Infusão da planta fresca
DPs: Decocção da planta seca
DPF: Decocção da planta fresca

Imagem 3 - Perfil cromatográfico dos extratos de infusão e decocção com a planta fresca e seca

Em continuidade ao estudo realizado, de forma sintética, constam na Tabela 1 e Tabela 2 os dados discutidos quanto às amostras que apresentaram a banda na cromatoplaça e, conseqüentemente, Fator de retenção (R_f). Também foi acrescido informações da semelhança discorrida.

Tabela 1 – R_f s (Fator de retenção) das primeiras placas (decocção e infusão)

Amostras	Infusão	Decocção
Padrão	0,374	0,51
PS (Planta seca)	0,353	0,47
Semelhança	92,12%	94,44%

Tabela 2 – Rf (Fator de retenção) dos extratos de infusão e decocção com a planta fresca e seca

Amostras	Rf (Fator de retenção)
Padrão	0,34
IPS	0,32
IPF	0,32
DPS	0,32
DPF	0,32
Semelhança	94,18%

CONCLUSÕES

Cabe ressaltar que as amostras dos lotes de chá comerciais não apresentaram nenhuma mancha após a revelação, assim não foi possível obter valor de Rf, caracterizando um resultado negativo para a presença de Citral em todas as amostras, tanto nos extratos provenientes da decocção quanto da infusão. Pela natureza apolar da substância desejada, foi realizada a extração líquido-líquido dos extratos com clorofórmio para permitir a análise cromatográfica, contudo, ainda assim houve ausência.

Isso pode estar relacionado ao processo de secagem ao qual a planta foi submetida para gerar a droga vegetal ou mesmo na trituração, posto que o processo de moagem pode gerar calor excessivo, dado que o extrato da planta seca a temperatura ambiente, usado como comparativo apresentou o citral. Nesse sentido, há possibilidade de ter se volatilizado a elevadas temperaturas, posto que é uma molécula pequena.

REFERÊNCIAS

1. Lorenzi, H. E.; Matos, F. J. A. Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008.
2. Gomes, E. e col. *Cymbopogon citratus* (D.C.) Stapf: aspectos botânicos e ecológicos. 2003. (Tese doutorado) - Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
<https://revistas.ufpr.br/academica/article/viewFile/534/447>

3. Soares, Igor; Silva, Francisca; Sá, Kellen Miranda; Weyne, Gleilton; Sales, Passos; Castro, Marina; Bandeira, Mary. Análise fitoquímica e estudo in silico do potencial farmacológico antiviral do óleo essencial de capim-santo (*Cymbopogon citratus*) proveniente de Fortaleza, Ceará. 2020.
4. Pereira, R. J., & Cardoso, G. M. (2012). Metabólitos secundários vegetais e benefícios antioxidantes. *Journal of biotechnology and biodiversity*, 3(4). <https://www.todafruta.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Metab%C3%B3litos-secund%C3%A1rios-ARTIGO.pdf>
5. Rezende, F. M., Rosado, D., Moreira, F. A., & de Carvalho, W. R. S. (2016). Vias de síntese de metabólitos secundários em plantas. *Laboratório de Ensino de Botânica*, 93. https://www.researchgate.net/profile/Carolina-Kleingesinds/publication/324744075_Sinalizacao_entre_plantas_e_bacterias/link/s5adfdf970f7e9b285945e501/Sinalizacao-entre-plantas-e-bacterias.pdf#page=93
6. Miranda, V. C. (2012). Influência de condições de secagem, sombreamento, horário de colheita e procedência das plantas sobre o teor de óleo essencial de *Cymbopogon citratus* (D.C) Stapf. Tese (Pós-graduação em Produção vegetal), Universidade Federal do Tocantins, Gurupi.
7. Gobbo-Neto, Leonardo e Lopes, Norberto P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. *Química Nova* [online]. 2007, v. 30, n. 2, pp. 374-381. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200026>. Epub 13 Mar 2007. ISSN 1678-7064
8. Duarte, M. do R.; Zaneti, C. C.. Estudo Farmacobotânico de folhas de capim-limão: *Cymbopogon citratus* (dc.) stapf, poaceae. *Visão Acadêmica*, [S.L.], v. 5, n. 2, p. 117-124, 31 dez. 2004. Universidade Federal do Parana. <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v5i2.556>.
9. Oliveira, D.M.D; Lucena, E.M.P. Uso de plantas medicinais por moradores de Quixadá - Ceará. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, V. 17, N. 3, Setembro de 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbpm/a/6wcr8N8M6dRtNv6KCgX6xtz/?lang=pt> Acesso em: 30 de junho de 2022.
10. Lucca, P.S.R; Eckert, R.G; Smanhotto, V; Kuhn, L.M; Minati, LR. Avaliação farmacognóstica e microbiológica da droga vegetal camomila (*Chamomilla recutita* L.) comercializada como alimento em Cascavel - Paraná. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, V.12, N. 02, Abril/ Junho de 2010.
11. BRASIL, RDC nº 26, de 13 de maio de 2014. Regulamenta o registro de Medicamentos Fitoterápicos (MF) e o registro e a notificação de Produtos








Tradicionalis Fitoterápicos (PTF). Diário oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 14 mai. 2014.

12. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Farmacopeia Brasileira, 6^a ed., 2019. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, RDC nº 166, de 24 de Julho de 2017.

Capítulo 30

Doi.org/10.53934/9786599965814-30

CARACTERIZAÇÃO DE FIBRAS DE BAMBU COMO POTENCIAL PARA GERAÇÃO DE NOVOS MATERIAIS

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães *; Marcelo Barbosa Furtini ; Josy Anteveli Osajima Furtini ; José Benedito Guimarães Junior ; Ramon Raudel Peña Garcia ; Gustavo Henrique Denzin Tonoli  Francisco Murilo Tavares de Luna 

*Bárbara Maria Ribeiro Guimarães (Corresponding author) –
bmr2115@yahoo.com.br

Resumo: Atualmente com a crescente preocupação com as questões ambientais, tem surgido um grande aumento em pesquisas científicas e tecnológicas visando o desenvolvimento e obtenção de novos materiais que sejam menos nocivos ao meio ambiente, provenientes de matérias-primas renováveis e biodegradáveis. Desta forma, o presente estudo tem o objeto de caracterizar o colmo de bambu imperial quanto às suas propriedades físicas, anatômica e morfológica a fim de se obter parâmetros para a utilização destas fibras vegetais em compósitos, papéis, *nanopapers* entre outros. O bambu foi cortado e seccionado em partes menores para a determinação da umidade e densidade básica. Esse material foi analisado quanto às suas características anatômicas e morfológicas utilizando para essa etapa a microscopia ótica e a microscopia eletrônica de varredura (MEV). O bambu após o corte apresentou umidade de $\pm 72\%$ e baixa densidade ($0,41 \text{ g/cm}^3$). As fibras mostraram-se recobertas com impurezas que devem ser tratadas e removidas para que possam ser utilizadas como reforço em compósitos ou produção de papéis ou *nanopapers* de forma a não comprometer as propriedades finais destes materiais.

Palavras-chave: bambu; caracterização; compósitos

Abstract: Currently, with the growing concern about environmental issues, there has been a large increase in scientific and technological research aimed at developing and obtaining new materials that are less harmful to the environment, from renewable and biodegradable raw materials. Thus, the present study aims to characterize the imperial bamboo culm in terms of its physical, anatomical and morphological properties in order to obtain parameters for the use of these plant fibers in composites, papers, nanopapers, among others. Bamboo was cut and sectioned into smaller parts to determine moisture content and basic density. This material was analyzed regarding its anatomical and morphological characteristics using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM) for this step. Bamboo after cutting showed $\pm 72\%$ moisture and low density (0.41 g/cm^3). The fibers proved to be covered with impurities that must be treated and removed so that they can be used as reinforcement in composites or in the production of papers or nanopapers in order not to compromise the final properties of these materials.

Key Word: bamboo; description; composites

INTRODUÇÃO

Conhecido por ser a planta que mais cresce mundialmente, o bambu apresenta uma taxa de crescimento que varia de 30 a 100 mm por dia, sendo esse crescimento rápido quando comparado a outras plantas lenhosas. Em geral, as plantas lenhosas como Pinus e o Eucalipto levam de 7 a 14 anos para atingirem a vida adulta, enquanto o bambu leva apenas 4 anos. (1).

Este recurso florestal (Bambu) tem sido considerado uma alternativa promissora para a substituição de madeira em algumas aplicações, devido as suas propriedades físico-mecânicas adequadas, apresentando alta durabilidade quando tratado adequadamente. (2). Em termos de resistência, o bambu apresenta maior resistência à tensão axial e compressão axial em comparação a madeira, sendo justificado pela alta orientação das microfibrilas de celulose no sentido axial das células de bambu, e as células que formam feixes vasculares longitudinais no tecido parenquimáticos (3). Em relação a resistência à tração o bambu apresenta valores de 40 MPa à 215 MPa (4), enquanto que as madeiras apresentam valores variando entre 58,1 MPa à 139,2 MPa (5).

Em busca de novas alternativas em substituição à madeira, o objetivo deste estudo foi analisar por meio das características físicas e morfológicas, o potencial de fibras de bambu para produção de novos materiais.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção da matéria prima

Foi utilizada como matéria-prima fibras de bambu imperial (*Bambusa vulgaris vittata*). O material foi coletado na Universidade Federal de Lavras na cidade de Lavras/MG. O bambu foi cortado e posteriormente seccionado longitudinalmente e transversalmente para análise de suas características conforme ilustrado na figura 1(a/b).

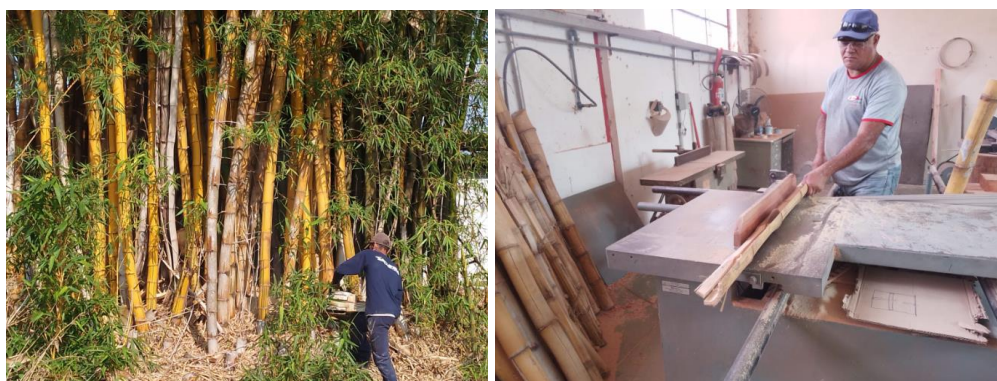


Figura 1 a- Corte dos bambus; b- Seccionamento dos colmos de bambu para posterior análise de suas propriedades.

Caracterização das propriedades físicas

Para a determinação da umidade logo após o corte, o bambu foi seccionado e foram retirados corpos de prova com dimensões de $1,0 \times 2,0 \times 2,0$ cm (espessura \times largura \times comprimento). As amostras foram obtidas apenas da região intermediária, desprezando-se as camadas externa e interna dos colmos. Para a determinação de umidade, utilizou-se a Norma Brasileira Regulamentadora – NBR 7190 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (5).

Para a determinação da densidade básica, o bambu já cortado foi seccionado em partes menores, moído e peneirado em peneira de 40 e 60 mesh, sendo utilizado para essa análise a porção retida na peneira de 60 mesh. Em seguida essas partículas foram depositadas em béqueres com água para a saturação, sendo posteriormente coados em uma peneira para a retirada do excesso de água e, em seguida, imersos em uma proveta contendo água destilada (150 ml).

O volume deslocado da água corresponde ao volume do material. Logo após este processo, o material foi retirado da proveta e colocado em placas de Petri, para secagem completa em estufa, a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$, por um período de 24 horas.

As amostras foram, então, retiradas da estufa e mantidas em dessecador para resfriamento, anteriormente à determinação das suas massas (massa seca). A densidade básica do material foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$Db = Ms/Vs$$

Db=Densidade básica

Ms=Massa seca

Vs=Volume saturado

Caracterização anatômica morfológica das fibras

As observações anatômicas dos feixes vasculares foram realizadas por um microscópio óptico (Motic). Foram retiradas amostras finas com estilete na seção transversal do material.

A morfologia das fibras de bambu foi investigada utilizando a microscopia eletrônica de varredura, objetivando a visualização das características da superfície destas fibras. Para tanto foi utilizado um microscópio eletrônico de varredura (LEO EVO 40 XVP). A amostra foi submetida ao processo de metalização por *sputtering*, com deposição de um filme de ouro sobre a superfície das fibras.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 descreve as características físicas de umidade e densidade básica do colmo de bambu.

Tabela 4 – Caracterização física das fibras de bambu

	Umidade (%)	Densidade básica (g/cm ³)
Média	72%	0,41
Desvio padrão	±7	±0,01

O valor encontrado para a densidade foi (0,41 g/cm³). Esse valor, segundo Instituto de Pesquisa Tecnológica (6), caracteriza o bambu como material de baixa densidade (<0,50g/cm³). Para a produção de compósitos poliméricos são desejáveis matérias primas de menor densidade, pois gera produtos mais leves, promovendo desta forma ganho em processo logístico (7).

Segundo Liese (8), a massa específica básica é uma propriedade importante dos colmos de bambu e pode variar de 0,50 a 0,90 g/cm³, inclusive dentro de uma mesma espécie. Desta forma os resultados obtidos neste estudo estão dentro do intervalo estipulado por este autor. Essa diferença entre resultados está provavelmente relacionada com a utilização de espécies diferentes, posição de coleta, idade, condições edafoclimáticas na região do estudo, que influenciam diretamente nesta propriedade.

Em relação ao teor de umidade foi observado que o bambu recém cortado apresentou teor de umidade em torno de 72%. Segundo Beraldo e Rivero, (9), o teor de umidade de um colmo de bambu recém-cortado é de aproximadamente 80%. Este valor varia em função da idade e da posição escolhida para o corte para a amostragem além da época do ano em que foi cortado.

Na Figura 2, são apresentados os feixes fibrovasculares, no sentido transversal.

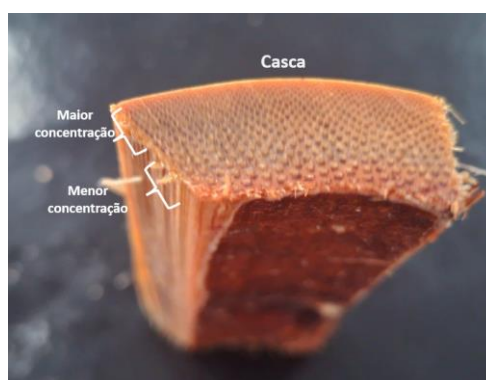


Figura 2 Representação transversal do colmo do bambu

Como mostrado na figura 2 a maior concentração de feixes vasculares com menores diâmetros encontra-se próximo à casca (epiderme); próximo ao centro do colmo,

observa-se menor concentração de feixes com maiores diâmetros. Essa tendência também foi citada por Rusch, Hillig, Ceolin (10). Segundo Janssen, (11), a maior concentração dos feixes de fibras ocorre na região próxima da casca, de coloração mais escura, conferindo maior resistência. Em contrapartida, na região oposta, próximo ao centro do colmo, ocorre maior concentração de células de parênquima, de coloração mais clara, proporcionando menor resistência.

Segundo Tomazello Filho; Azzini, (12) a seção transversal do colmo de bambu é constituída por numerosos feixes fibrovasculares envolvidos por um tecido parenquimático fundamental que é constituído por: vasos, elementos crivados com células companheiras e cordões de esclerênquima formando os feixes fibrovasculares; e fibras, formando as bainhas das fibras. A Figura 3 apresenta imagens de um conjunto de feixe vascular obtidas do microscópio óptico do laboratório de nanotecnologia da Universidade Federal de Lavras.

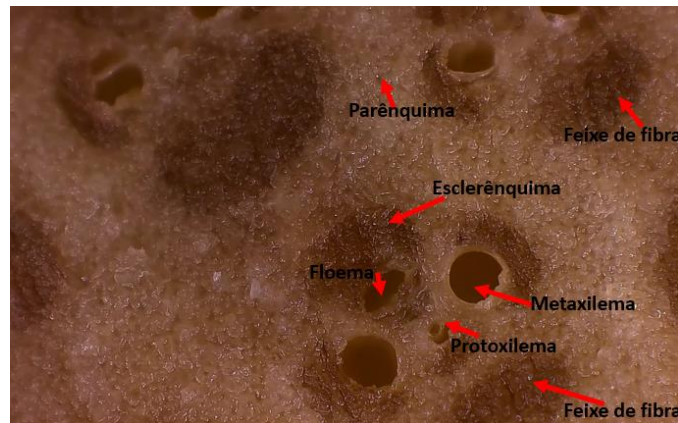


Figura 3 – Detalhes dos conjuntos vasculares do bambu obtidas pelo microscópio óptico da seção transversal de feixe fibrovascular (Aumento de 40X).

A quantidade de fibras e tecido vascular e parenquimático é variável ao longo do colmo e entre espécies. As proporções desses tecidos podem interferir no aproveitamento dessas espécies, já que os colmos com uma maior quantidade de fibras e feixes vasculares são mais rígidos, pois estes constituem tecidos de sustentação (13). Além disso, se destinados à produção de celulose e derivados, materiais com quantidade elevada de fibras e tecido vascular apresentam um maior rendimento (14).

Para uso em materiais compósitos o tipo de fibra é de fundamental importância, pois esta é utilizada como reforço devido a suas características próprias como: elevada resistência à tração e alto módulo de elasticidade e em combinação com uma matriz distribui melhor tensão neste novo produto. Desta forma a escolha do tipo de fibra a ser usada na produção destes compósitos impacta diretamente as características final deste novo produto.

A Figura 4 mostra micrografia obtidas das fibras de bambu, onde as setas indicam a presença de componentes amorfos, como parênquima, ceras e outros resíduos graxos (impurezas). Essa mesma informação foi descrita por Gogoi et al. (15), que também

observaram impureza sobre a superfície de bambu *in natura*. Segundo o mesmo autor, essas impurezas são ceras, lignina e hemicelulose.

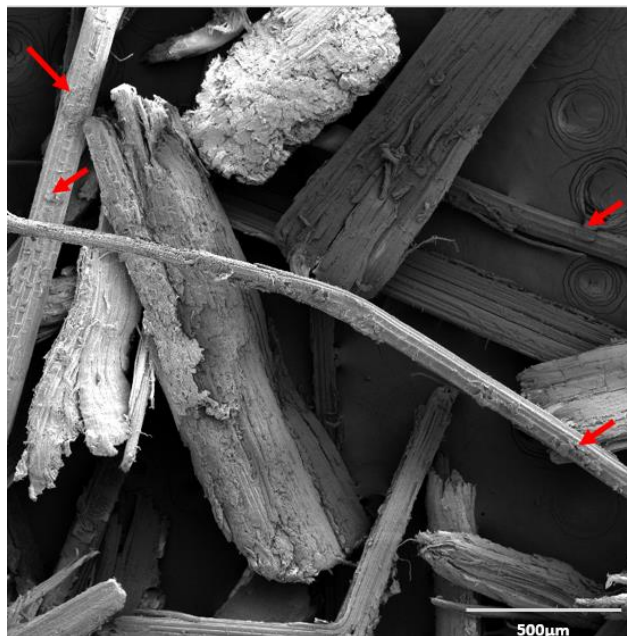


Figura 4 Micrografia de fibras do pseudocaule de bambu com aumento de 100x

Devido à presença destes componentes sobre a superfície da fibra de bambu, tratamentos (físicos, químicos, térmicos) devem ser realizados nestas fibras antes de sua incorporação em compósitos ou produção de papeis e *nanopapers*, pois podem comprometer as propriedades finais destes materiais.

CONCLUSÕES

A fibra estudada foi classificada como fibra de baixa densidade o que a torna um material promissor para a produção de compósitos pois gera produtos mais leves.

As fibras de bambu apresentaram sobre a sua superfície impurezas que devem ser retiradas antes da incorporação em compósitos ou fabricação de papel ou *nanopapers*.

Novos estudos devem ser realizados por meio de outras análises como: Composição química, anatômica, análise térmica, índice de cristalinidade para posterior avaliação quanto a sua utilização em novos materiais.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Fundação Cearense de Amparo ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal do Ceará. Este trabalho foi financiado pelo FUNCAP/CNPq sob Concessão (processo n° DCT-0182-00141.01.00/21 e 05803349/2022, edital FUNCAP/CNPq N° 03/2021).

Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI).

REFERÊNCIAS

1. Yasin I, Haza ZH, Sutrisno W. Mechanical Properties of Bamboo as Green Materials to Reduce the Global Warming Effect, *Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*. 2018; 52; 46-54.
2. Yang T, Lee CH, Lee CJ, Cheng YW. Effects of different thermal modification media on physical and mechanical properties of moso bamboo. *Construction and Building Materials*, 2016; 110; 251-259.
3. SHARMA B, Gattoo A, Bock M, Mulligan H, Ramage M. Engineered bamboo: state of the art. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Construction Materials*. 2015;168, 2, 57–67, 2015.
4. Ghavami K; Marinho AB. Determinação das propriedades dos bambus das espécies: Mosó, Matake, *Guadua angustifolia*, *Guadua tagoara* e *Dencrocalamus giganteus* para utilização na engenharia. Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 2001. 40.
5. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7190:1997: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro: Abnt, 1997.
6. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Madeira: o que é e como pode ser processada e utilizada. IPT; São Paulo; 1985.
7. Iwakiri S, Trianoski R. Painéis de madeira reconstituída. 2ªed. Curitiba: Fupef, 2020.
8. Liese W. The anatomy of bamboo culms. 18. ed. Beijing: Inbar; 1998.
9. Beraldo AL, Rivero LA. Bambu laminado colado. *Floresta e Ambiente*. 2003; 10; 2; 36-46.
10. Rusch F, Hillig E, Ceolin, GB. Anatomia de hastes adultas de bambu: uma revisão. *Pesquisa Florestal Brasileira*. 2018; 38; 1-10.
11. Janssen JJA. Designing and building with bamboo. Beijing:Inbar. 2000; 211. (Technical report, 20).
12. Tomazello Filho M; Azzini, A. Estrutura anatômica, dimensões das fibras e densidade básica de colmos de *Bambusa vulgaris* Schrad. IPEF. 1987; 36, 43- 50.

13. Liese W. Structures of a bamboo culm affecting its utilization. In: Proceedings of International Workshop on Bamboo Industrial Utilization. 2003.
14. Foelkel CEB. Qualidade da madeira de eucalipto para atendimento das exigências do mercado de celulose e papel. In: Conferência IUFRO sobre Silvicultura e Melhoramento de Eucaliptos. 1997; 15-22.
15. Gogoi, R. Kumar N, Mireja S, Ravindranath SS, Manik G, Sinha S. Effect of Hollow Glass Microspheres on the Morphology, Rheology and Crystallinity of Short Bamboo Fiber-Reinforced Hybrid Polypropylene Composite. The Minerals, Metals & Materials Society. 2019. 71; 2.

Capítulo 31

Doi.org/10.53934/9786599965814-31

COMPOSTOS BIOATIVOS, PROPRIEDADES E PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DO ARATICUM-DO-BREJO (*Annona glabra* Linneau)

Jucianne Martins Lobato ^{a*}; Lucianne Martins Lobato ^b; Giselly Martins Lobato ^b

^a Programa de Pós-Graduação em Nutrição da Universidade Federal de Pernambuco (PPGN-UFPE), Recife, Pernambuco, Brasil.

^b Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão (CCCh-UFMA), Chapadinha, Maranhão, Brasil.

*Jucianne Martins Lobato (Corresponding author) – Email: lobatojucianne@gmail.com

Resumo

Nos últimos anos, estudos vêm investigando e buscando por fontes naturais com componentes bioativos que apresentam propriedades farmacológicas e dentre estas fontes merece destaque o araticum-do-brejo (*Annona glabra* Linn), planta tropical com uma ampla distribuição geográfica no Brasil, porém é pouco estudada com relação à composição e efeito terapêutico. O presente estudo objetivou abordar sobre os compostos bioativos e propriedades do araticum e apresentar visão geral a respeito do desenvolvimento tecnológico a partir desta planta. O araticum apresenta diversas substâncias bioativas, principalmente diterpenóides e acetogeninas, além disso, apresentou propriedades moluscicida, larvicida, leishmanicida, antifúngica, algicida, alelopático, anticâncer, neuroprotetora e de inibição da acetilcolinesterase. Com relação, a inovação tecnológica verificou-se que a base USPTO, apresentou o maior número de patentes depositadas com 10, enquanto que para EPO, INPI e WIPO foram encontrados 3, 0 e 4 patentes, respectivamente. Quanto aos termos utilizados na pesquisa, “Extracts of Araticum” na USPTO obteve 6 patentes e “*Annona glabra* L” na WIPO 4, sendo as bases que apresentaram o maior número de patentes com os referidos termos. A evolução anual de pedidos de depósitos de patentes demonstra que entre os intervalos anuais de 2011 a 2015 e 2016 a 2020, a USPTO obteve maior número de patentes depositadas. Portanto, o araticum é uma alternativa para o desenvolvimento de produtos alimentícios, devido à ampla gama de substâncias bioativas identificadas e propriedades terapêuticas. Entretanto, há poucas patentes depositadas, tornando-se necessário um maior incentivo na exploração do mesmo no desenvolvimento de produtos tecnológicos.

Palavras-chave: alimentos; inovação; patente

Abstract

In recent years, studies have been investigating and looking for natural sources with bioactive components that have pharmacological properties and among these sources the

araticum-do-brejo (*Annona glabra* Linn), a tropical plant with a wide geographic distribution in Brazil, is noteworthy studied with regard to composition and therapeutic effect. This study aimed to address the bioactive compounds and properties of the araticum and present an overview of the technological development from this plant. The araticum has several bioactive substances, mainly diterpenoids and acetogenins, in addition, it has molluscicidal, larvicidal, leishmanicidal, antifungal, algicidal, allelopathic, anticancer, neuroprotective and acetylcholinesterase inhibition properties. With regard to technological innovation, it was found that the USPTO base presented the highest number of patents filed with 10, while for EPO, INPI and WIPO, 3, 0 and 4 patents were found, respectively. As for the terms used in the research, “Extracts of Araticum” at USPTO obtained 6 patents and “*Annona glabra* L” at WIPO 4, being the bases that presented the largest number of patents with those terms. The annual evolution of patent filing requests shows that between the annual intervals from 2011 to 2015 and 2016 to 2020, the USPTO obtained a higher number of patents filed. Therefore, the araticum is an alternative for the development of food products, due to the wide range of identified bioactive substances and therapeutic properties. However, there are few patents deposited, making it necessary to provide greater incentives to exploit it in the development of technological products.

Keywords: food; innovation; patent

INTRODUÇÃO

Araticum-do-brejo (*Annona glabra* Linneau) é uma planta pertencente à família Annonacea com poucos dados disponíveis na literatura sobre o seu fruto apesar de ter uma ampla distribuição geográfica (desde a Amazônia até Santa Catarina) e de sua família apresentar substâncias, como taninos, óleos essenciais, terpenos, compostos fenólicos, entre outros (1).

As atividades biológicas da família Annonacea são: anticâncer, antiparasitária, inseticida e imunossupressora, devido à presença da acetogenina, principal metabólito secundário dessa família, é muito utilizada pelas comunidades locais amazônicas como vermífugo e no reumatismo (2,3,4).

Além disso, o araticum vem despertando interesse de pesquisadores nos bioativos que fazem parte da sua composição (5), porém ainda não tem estudos sobre produtos tecnológicos já desenvolvidos tornando-se necessários estudos de caráter prospectivo tecnológico para que haja um incentivo em investimentos da indústria.

De acordo com Zan et al., (6) a prospecção é um processo que se ocupa de procurar de forma sistemática e avaliar o futuro a longo prazo da ciência, tecnologia, economia e sociedade e tem dois objetivos: preparar a indústria para aproveitar ou enfrentar oportunidades ou ameaças futuras e desencadear uma construção de um futuro desejável (7).

Portanto, para que haja um interesse na planta pelas indústrias é imprescindível demonstrar os produtos já desenvolvidos e suas propriedades para os alimentos, cosméticos e farmacêuticos. O presente estudo objetivou-se abordar sobre os compostos bioativos e propriedades do araticum e apresentar visão geral a respeito do desenvolvimento tecnológico a parti desta planta.

ARATICUM-DO-BREJO

Araticum-do-brejo (*Annona glabra* L.) é uma árvore de fruto tropical da família Annonaceae com uma ampla distribuição geográfica (desde a Amazônia até Santa Catarina) (1,3,4). É uma das famílias de plantas tropicais poucos estudadas com relação a composição fitoquímica e propriedades farmacológicas (8).

Os frutos são consumidos tanto pela fauna nativa quanto pelos humanos, e a casca, caule, folhas e frutos têm propriedades terapêuticas e são amplamente utilizados pelas comunidades amazônicas como remédios populares, por exemplo, vermífugo e no tratamento do reumatismo (8, 9, 10, 11).

O fruto é comestível, a polpa de sabor agradável e perfumado. O fruto esférico é semelhante em tamanho a uma maçã ou pode ser um pouco maior. O consumo desta fruta é geralmente local e não alcançou a popularidade de outras frutas do mesmo gênero. Foi relatado que a fruta possui propriedades anticâncer, antimutagênico e antioxidante (12, 13).

Nos últimos anos, estudos vêm investigando a composição fitoquímica desta planta no qual levou ao isolamento dos seguintes compostos bioativos: acetogeninase peptídeos, ent-cauranos e alcalóides. Além disso, apresentaram atividade anticâncer (14, 15, 16).

COMPOSTOS BIOATIVOS

A presença de compostos farmacologicamente ativos em extratos das diferentes partes do araticum-do-brejo foi demonstrado em diversas pesquisas (Tabela 1). Os compostos identificados apresentam propriedades benéficas para a saúde humana, porém tornam-se necessários estudos bioquímicos *in vitro* dessas substâncias bioativas.

Tabela 1. Compostos bioativos presentes nas partes de *Annona glabra* L.

Parte	Metodologia	Compostos bioativos	Autor/Ano
Folha	Extração: Ultrassom de sonda de alta intensidade de 200w e 24 Hz; Identificação: Cromatografia líquida de alta eficiência.	Esteróides (b-sistosterolestigmasterol, Diterpenos com o kauraneesqueleto (ácido ent-kaur-16-en-19 óico, ent-19-metoxi-Ácido 19-oxokauran-17-óico, anoglaba sina B, Ácido ent-17-hidroxi-15-en-19-óico e ent-15b, ácido b-epoxi-17-hidroxi-cauran-19-óico e a acetogeninaasimicina.	Matsumoto et al., (17)
Fruta	Extração: Estufa Likens-Microapparatus de Nickerson com 25 mL de éter dietílico Identificação: Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas.	Mono- e sesquiterpeno, ésteres 2-hidroxi e 3-hidroxi mircreno, (Z) -p-ocimeno 1, moneno e a-pineno, epi-a-bisabolol metilo, 3-hidroxi-hexadecanoato, spathulenol (E) -metiliso Eugenol.	Pino et al., (18)
Fruta	Extração: MeOH (3 x 5 L, 50°C) sob sonificação, remoção de solventes a vácuo. Identificação: Cromatografia em coluna de sílica gel.	Ácido di-hidrofásico 1,30-di-Ob-Dglucopiranosídeo, di-hidrofásico 30-ObD-glucopiranosídeo, icarisídeo D2, icarisídeo D2 60-O-b-D-xilopiranosídeo, 3,4-dimetoxifenil O-b-Dglucopiranosídeo, ácido 3,4-dihidroxibenzóico (6), blumenol A,	Hien et al., (19)

		cucumegastigmane I, e o icarisídeo B1.	
Fruta	Extração: MeOH (3 5 L, 50 C) sob sonicção.	Ácido 17-tri-hidroxi-ent-cauran-19-óico, 17-di-hidroxi-Éster 19-O-b-D-glucopiranosídeo do ácido 16a-ent-kauran-19-óico, 17-di-hidroxi-ent-kaur-15-en-19-óico éster de ácido 19-O-b-D-glucopiranosídeo, paniculosídeo, 17-di-hidroxi-ent-caurano, 17-di-hidroxi-ent-caurano, 17-di-hidroxi-ent-cauran-19-al e ácido 17-di-hidroxi-ent-cauran-19-óico	Nhiem et al., (20)
Entrecasca e sementes	Extração: Soxhlet com os solventes orgânicos hexano, clorofórmio, acetato de etila e metanol.	Esteróides, triterpenos, alcaloides, compostos fenólicos e saponinas.	Silva et al., (21)
	Identificação: Cromatografia		

A fruta, folha, entrecasca e sementes demonstraram serem fontes potenciais de substâncias bioativas que desempenham papel de defesa desta espécie (17), podendo assim serem exploradas no desenvolvimento de alimentos, fármacos, fitoterápicos e etc, contribuindo para a promoção da saúde, pois apresentam ação na prevenção de patologias.

Dentre os compostos bioativos presentes e que apresentaram propriedade anticâncer se destaca os diterpenóides. Zhang et al., (11) verificaram que o ácido cunábico e ent-kauran-19-al-17-oi foram capazes de inibir a proliferação da linhagem celular de câncer de fígado, podendo ser um novo recurso para o desenvolvimento de fármacos.

As acetogeninas também foram identificadas e as mesmas estão intimamente relacionadas com uma ampla variedade de atividades incluindo comportamento inseticida e inibição de leucemia linfocítica, células de carcinoma e complexo mitocondrial I (17). Vale salientar que estas substâncias bioativas também são ativas contra várias células tumorais.

Estudos sobre a composição (macronutrientes, micronutrientes e dos compostos bioativos) do araticum, como por exemplo, flavonóides, carotenóides e etc não foram encontrados, sendo importante investigar o teor destas substâncias como também a toxicidade das partes da planta para que assim possa ser explorada no setor alimentício e farmacêutico.

PROPRIEDADES

As propriedades do araticum consistem nas seguintes atividades: moluscicida, larvicida, leishmanicida, antifúngica, algicida, alelopático, anticâncer, neuroprotetora como também foi capaz de inibir a acetilcolinesterase (Tabela 2). Porém verificou-se que o extrato da planta não é eficiente contra a cepa de *Candida albicans* e *Plasmodium falciparum*.

Tabela 2. Propriedades biológicas do Araticum-do-brejo (*Annona glabra* L.)

Parte	Atividade biológica	Autor/Ano
	Anticâncer	Zhang et al., (11)

Folha	Alelopática Leishminicida Algicida Antifúngica Neuroprotetora	Matsumoto et al., (22) Garcia et al., (23) Rocha et al., (24) Liu et al., (25) Ma et al., (26)
Casca	Inibição da migração de granulócitos	Siebra et al., (8)
Entrecasca	Inibição da acetilcolinesterase	Silva et al., (21)
Semente	Inibição da acetilcolinesterase Moluscicida	Santos et al., (27) Silva et al., (21)
Caule	Larvicida	Mendonça et al., (28)

O extrato da folha apresentou diversas propriedades benéficas, sendo as seguintes: leishmanicida, alelopático, algicida e antifúngica, podendo ser explorado no tratamento da água (controle da proliferação de algas) e nas perdas provocadas por fungos nas lavouras (22, 23, 24, 25).

Além disso, as folhas mostraram vários efeitos bioativos que são essenciais para a atividade anticâncer, onde células de leucemia tratadas com o extrato exibiram viabilidade celular reduzida, aumento da atividade de eliminação radical, aumento de espécies reativas de oxigênio (ROS), redução de ATP e alteração morfologia mitocondrial (25).

Santos et al., (27) verificaram que a semente apresentou uma atividade moluscicida contra formas de *Biomphalaria glabrata* (adultos e ovos), podendo ser utilizada no controle da esquistossomose. Já Silva et al., (21) mostraram que o extrato foi capaz de inibir a acetilcolinesterase, sendo uma fonte potencial na prevenção de doenças como Alzheimer.

O caule mostrou ação larvicida contra *Aedes aegypti*, tendo potencial no controle da transmissão da dengue (28), porque as larvas e os mosquitos vêm adquirindo resistência aos inseticidas sintéticos e produtos naturais como o extrato do caule é uma opção eficiente, pois são tóxicos para os mosquitos e agride menos o meio ambiente.

A casca do araticum não demonstrou ação imunomoduladora, mas foi capaz de inibir a migração de granulócitos no qual sugere-se uma atividade inflamatória sendo o principal composto responsável o ácido caurenóico devido estimulá-la de forma significativa, ou seja, a atividade biológica não é só do extrato como também da substância bioativa (8).

Apesar da planta não ter apresentado atividade antimalárica e antifúngica contra cepa padrão de *Candida albicans* (29, 30), pode proporcionar vários benefícios para a saúde do ser humano, porém é imprescindível avaliar a toxicidade das partes da planta, para que assim seja explorada na formulação de produtos pelas diversas indústrias.

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA

O maior número de patentes que foram depositadas foi na pesquisa realizada na base United States Patent and Trademark Office (USPTO) com 10 patentes, enquanto que para European Patent Office (EPO), Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI)

e World Intellectual Property Organization (WIPO) foram encontrados 3, 0 e 4 patentes, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 3. Pedidos de patentes sobre o Araticum-do-brejo nas bases de dados

Bases de dados	Quantidade
EPO	3
INPI	0
USPTO	10
WIPO	4
Total	17

Observou-se que apesar de diversos estudos mostrarem o potencial do Araticum-do-brejo no desenvolvimento de produtos tecnológicos, ainda há poucos produtos desenvolvidos sobre o mesmo, porém apesar disso, a sistematização do mapeamento de patentes pode influenciar significativamente a indústria, economia e institutos de pesquisa (31).

Porém verificou-se que na base do INPI ainda não há o depósito de patentes sobre o Araticum, ou seja, no Brasil ainda não foram desenvolvidos produtos tecnológicos da planta e se não tiver esforços de pesquisa nacional não forem desenvolvidos consequentemente a concorrência internacional por países desenvolvidos sempre será uma ameaça (32).

A escassez de patentes depositadas no Brasil deve-se principalmente à falta de investimentos em inovação, apesar de existirem no país bons centros de pesquisa na área de produtos naturais e inovação tecnológica, mas por ausência de um ambiente regulatório voltado para a pesquisa e desenvolvimento, faz com que empresas tenham medo de investir em patentes (33).

Além do incentivo para o desenvolvimento de produtos tecnológicos, é imprescindível pesquisas a cerca da relação custo-benefício da adoção do Araticum em produtos tecnológicos para que as empresas tenham uma maior segurança em realizar investimentos neste produto e consequentemente gerar uma maior produção de patentes a partir do fruto (34).

Quanto aos termos utilizados na pesquisa para patentes depositadas (Tabela 4) verificou-se que “Extracts of Araticum” na USPTO com 6 patentes e “*Annona glabra* L” na WIPO com 4 foram as que mais obtiveram um maior número de patentes com os referidos termos. Entretanto, quando utilizados termos específicos, como “Araticum flour” observou-se a ausência de patentes.

Tabela 4. Número de patentes depositadas nas bases por termos de pesquisa

Termo	EPO	INPI	USPTO	WIPO
Araticum	0	0	1	0
Extracts of Araticum	0	0	6	0
Araticum flour	0	0	0	0
<i>Annona glabra</i> L	3	0	3	4

O número total de patentes encontradas nas bases da USPTO e WIPO quando utilizados os termos da pesquisa foram 9 e 4 patentes respectivamente. O uso de palavras-chave na busca de patentes é uma ferramenta que proporciona um refinamento dos estudos encontrados e facilita para o pesquisador uma visão geral das patentes depositadas por termos.

A evolução anual de pedidos de depósitos de patentes nas bases de dados utilizadas (Tabela 5) demonstra que entre os intervalos anuais de 2011 a 2015 e 2016 a

2020 apenas na base USPTO foi a que apresentou maior número de patentes depositadas no qual se destaca com um total de 10 patentes sendo 5 para cada intervalo anual e já a base WIPO com 3 depósitos.

Tabela 5. Evolução anual de depósitos de pedidos de patentes nas bases de dados

Base	1995–1999	2000–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2020
	Nº	Nº	Nº	Nº	Nº
EPO	1	2	0	1	0
INPI	0	0	0	0	0
USPTO	0	0	0	5	5
WIPO	0	0	0	2	1
Total	1	2	0	8	6

O mapeamento de desenvolvimentos científicos e tecnológicos mostrou um número muito pequeno ainda de patentes a respeito do Araticum-do-brejo, porém observou-se que vem tendo um crescimento ao longo dos últimos anos, apresentando um papel crucial na indústria, pois está disponível para as empresas qual patente de produtos deve-se investir (35).

Com relação às patentes depositadas por aplicantes, verificou-se que as empresas que apresentaram um maior número de patentes na maioria das bases, exceto na USPTO no qual obteve a mesma quantidade de patentes de aplicante pessoal. Já as universidades não apresentam valores significativos de patentes depositadas, sugerindo a falta de incentivo destas instituições (Tabela 6).

Tabela 6. Patentes depositadas por aplicantes

Base	Aplicantes		
	Empresa	Universidade	Pessoal
EPO	2	1	0
INPI	0	0	0
USPTO	5	0	5
WIPO	4	0	0
Total	11	1	5

Quanto o depósito por categoria de produtos desenvolvidos observou-se um maior interesse no investimento de produtos farmacêuticos porque estes obtiveram índices maiores em todas as bases, seguido de alimentícios comum total de 3 patentes. Quanto aos produtos higiênicos e químicos foram encontrados nas bases USPTO e WIPO apenas uma patente em cada base (Tabela 7).

Tabela 7. Patentes depositadas por categoria de produtos produzidos

Base	Categoria			
	Alimentícia	Farmacêutica	Higiene	Química
EPO	1	2	0	0
INPI	0	0	0	0
USPTO	2	7	1	0
WIPO	0	3	0	1
Total	3	12	1	1

Dentre os produtos farmacêuticos merecem destaque os seguintes: medicamento anticâncer, agente anti-envelhecimento, formulação tópica para cuidados com a pele e glabranina para o crescimento do cabelo, alimentícios: inibidor de deterioração do sabor

e papel de embrulho (embalagem), químicos e higiênicos: inseticídio e polissacarídeo detergente, respectivamente.

Os resultados sugerem que as bases de origem americana são as que apresentam um maior número de patentes depositadas sobre a planta *Araticum-do-brejo* e assim acompanhando as tendências do mercado, demonstrando que a mesma vem se preocupando com a inovação tecnológica e buscando o desenvolvimento de produtos tecnológicos por fontes naturais.

Enquanto que nas indústrias brasileiras percebe-se que ainda não há patentes depositadas sobre a planta conforme se observa na base INPI no qual se sugere que a ausência de patentes deve-se principalmente à falta de investimentos das indústrias para o desenvolvimento e utilização de produtos nacionais, refletindo que a inovação tecnológica precisa ser incentivada.

CONCLUSÕES

O araticum-do-brejo é uma planta potencial para a formulação de produtos alimentícios, farmacêuticos e cosméticos, devido à ampla gama de substâncias bioativas identificadas e propriedades das diferentes partes da planta, podendo contribuir para o desenvolvimento social, econômico e ambiental do local que apresenta em abundância essa planta.

O número de patentes envolvendo o araticum ainda é insatisfatório, apesar de ser um produto nativo. A maioria das patentes estão depositadas em bases americanas, tornando-se necessário o incentivo para a exploração quanto à inovação tecnológica para que assim haja investimentos na pesquisa e desenvolvimento de produtos a partir de fontes naturais regionais.

REFERÊNCIAS

1. Pavan V, Sancho RAS, Pastore G.M. The effect of *in vitro* digestion on the antioxidant activity of fruit extracts (*Carica papaya*, *Artocarpus heterophyllus* and *Annona marcgravii*). *LWT – Food Sci Technol*. 2014; 59: 1247-1251.
2. Santos AS, Andrade EH, Zoghbi MG, Maia JGS. Volatile constituents of fruits of *Annona glabra* L. from Brazil. *Flavor Fragr J*. 1998; 13: 148-150.
3. Liaw CC, Chang FR, Chen SL, Wu CC, Lee KH, Wu YC. Novel cytotoxic monotetrahydrofuranic Annonaceous acetogenins from *Annona montana*. *Bioorg Med Chem*. 2005; 13: 4767-4776.
4. Nunes CR, Bernardes NR, Glória LL, Oliveira DB. Flavonóides em Annonaceae: Ocorrência e propriedades biológicas. *Vértices*. 2012; 14: 39-57.
5. Anaya-Esparza LM, García-Magaña ML, Domínguez-Ávila JA, Yahia EM, Salazar-López NJ, González-Aguilar GA, Montalvo-González E. *Annonas*: Underutilized species as a potential source of bioactive compounds. *Food Res Int*. 2020; 138: 1-18.
6. Zan FR, Guimaraes DC, Fabris JP, Russo SL. Prospecção tecnológica: Acessórios de vedação para garrafas para garrafas de vinho. *Geintec*. 2016; 6: 2885–2893.
7. Caruso LAC, Tigre PB. Modelo SENAI de prospecção: documento tecnológico. 1 ed. CINTERFOR/OIT; 2004.
8. Siebra CA, Nardin JM, Florão A, Rocha FH, Bastos DZ, Oliveira BH, Weffort-Santos, AM. Potencial antiinflamatório de *Annona glabra*, Annonaceae. *Rev Bras Farmacogn*. 2009; 19: 82-22.

9. Padmaja V. Biological activities of *Annona glabra*. J Ethnopharm. 1995; 48: 21-24.
10. Manica I. Frutas anonáceas: ata ou pinha, atemólia, cherimólia e graviola: tecnologia de produção, pós-colheita e mercado. 1 ed. Cinco Continentes; 2003.
11. Zhang YH, Peng HY, Xia GH, Wang MY, Han Y. Anticancer effect of two diterpenoid compounds isolated from *Annona glabra* Linn. Acta Pharmacol Sin. 2004; 25: 937-942.
12. Cochrane CB, Nair PR, Melnick SJ, Resek AP. Anticancer effects of *Annona glabra* plant extracts in human leukemia celllines. Anticancer Res. 2008; 28: 965-971.
13. Vilar JB, Ferreira FL, Ferri PH, Guillo LA, Chen LC. Assessment of the mutagenic, antimutagenic and cytotoxic activities of ethanolic extract of *Annona crassiflora* Mart. 1841) by micronucleus test in mice. Braz J Biol. 2008; 68:141-147.
14. Chen CH, Hsieh TJ, Liu TZ, Chern CL, Hsieh PY, Chen CY. Annoglabayin, a novel dimeric kaurane diterpenoid, and apoptosis in Hep G2 cells of annomontacin from the fruits of *Annona glabra*. J Nat Prod. 2004; 67: 1942-1946.
15. Likhitwitayawuid K, Angerhofer CK, Cordell GA, Pezzuto JM, Ruangrunsi N. Cytotoxic and antimalarial bisbenzylisoquinoline alkaloids from *Stephania erecta*. J Nat Prod. 1993; 56: 30-38.
16. Tsai SF, Lee SS. Characterization of acetylcholinesterase inhibitory constituents from *Annona glabra* assisted by HPLC microfractionation. J Nat Prod. 2010; 73: 1632-1635.
17. Matsumoto S, Varela RM, Palma M, Molinillo JMG, Lima IS, Barroso CG, Macías FA. Bio-guided optimization of the ultrasound-assisted extraction of compounds from *Annona glabra* L. leaves using the etiolated wheat coleoptile bioassay. Ultrason Sonochem. 2014; 21: 1578-1584.
18. Pino JA, Marbot R, Aguero J. Volatile components of baba (*Annona glabra* L.) fruit. J Essen Oil Res. 2002; 14: 252-253.
19. Hien NTT, Nhiem NX, Yen DTH, Hang DTT, Tai BH, Quang TH, Ahi HLT, Kiem PV, Minh CV, Kim EJ, Kim SH, Kang HK, Kim YH. Chemical constituents of the *Annona glabra* fruit and their cytotoxic activity. Pharm Biol. 2015; 55: 1602-1607.
20. Nhiem NX, Hien NTT, Tai BH, Anh HT, Hang DTT, Quang TH, Kiem PV, Minh CV, Ko W, Lee S, Oh H, Kim SH, Kim YH. New ent-kauranes from the fruits of *Annona glabra* and their inhibitory nitric oxide production in LPS-stimulated RAW264.7 macrophages. Bio Med Chem Letters, 2015; 25: 254-258.
21. Silva AAS, Alexandre JB, Vieira LG, Rodrigues SP, Falcão MJC, Morais SM. Estudo fitoquímico e atividades leishmanicida, anticolinérgica e antioxidante de extratos de *Annona glabra* L (Araticum panã). Rev Ciên Farm Bás Apli. 2015; 36: 45-50.
22. Matsumoto RS, Ribeiro JPN, Takao LK, Lima MIS. Allelopathic potential of leaf extract of *Annona glabra* L (Annonaceae). Acta Bot Bras. 2010; 24: 631-635.
23. García M, Monzote L, Montalvo AM, Scull R. Screening of medicinal plants against *Leishmania amazonensis*. Pharm Biol. 2010; 48: 1053-1058.
24. Rocha GS, Matsumoto RS, Lombardi AT, Lima MIS. Potential effects of fungicide and algacide extracts of *Annona glabra* L. (Annonaceae) on the microalgae *Raphidocelis subcapitata* and on the oomycete *Pythium*. An Braz Acad Scien. 2017; 89: 2101-2111.
25. Liu Y, Wan W, Zhang H. *In vitro* mitochondria-mediated anticancer and antiproliferative effects of *Annona glabra* leaf extract against human leukemia cells. J Photochem Photobiol B Biol. 2018; 189: 29-35.

26. Ma H, Han J, Dong Q. Neuroprotective effect of *Annona glabra* extract against ethanol-induced apoptotic neurodegeneration in neonatal rats. *J Photochem Photobiol B Biol.* 2018; 181: 106–114.
27. Santos AF, Sant'ana AEG. Molluscicidal properties of some species of *Annona*. *Phytomed.* 2001; 8:115–120.
28. Mendonça FAC, Silva KFS, Santos KK, Ribeiro Júnior KAL, Sant'Ana AEG. Activities of some brazilian plants against larvae of the mosquito *Aedes aegypti*. *Fitoter.* 2005; 76: 629–636.
29. Menezes TOA, Alves ACBA, Vieira JMS, Menezes SAF, Alves BP, Mendonça LCV. Avaliação *in vitro* da atividade antifúngica de óleos essenciais e extratos de plantas da região amazônica sobre cepa de *Candida albicans*. *Rev Odontol UNESP.* 2009; 38: 184–191.
30. Valdés AFC, Martínez JM, Rodríguez DA, Lorenzo YC, Lizama RS, Gaitén YG. Actividad antimalarica y citotoxicidad de extractos hidroalcohólicos de seis especies de plantas usadas en la medicina tradicional cubana. *Rev Cub Med Trop.* 2011; 63: 52–57.
31. Serafini MR, Quintans J, Antonioli UR, Santos MRV, Quintans Junior LJ. Mapeamento de tecnologias patenteáveis com o uso da hecogenina. *Geintec.* 2012; 2: 427–435.
32. Santana MFS, Lima AKVO, Mourão M. Avaliação prospectiva do Açaí: Análise através dos pedidos de patentes e referências bibliográficas. *Geintec.* 2014; 4: 437–452.
33. Guaratini T, Callejon DR, Pires DC, Lopes JNC, Lima LM, Giannela Neto D, Sustovich C, Lopes NP. Fotoprotetores derivados de produtos naturais: perspectivas de mercado e interações entre o setor produtivo e centros de pesquisa. *Quím Nova.* 2009; 32: 717-721.
34. Rodrigues T, Junior AB. Technological prospecting in the production of charcoal: A patent study. *Renew Sustain Energy Rev.* 2019; 111: 170-183.
35. Santos GS, Ruzene DS, Silva DP. Prospecção tecnológica sobre o uso da fruta-pão. In: *Simpósio de Engenharia De Produção De Sergipe, 8., 2016, São Cristovão: Sergipe: Universidade Federal de Sergipe, 2016.* [acesso em 2020 out 08]. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/7642/2/ProspeccaoTecnologicaFrutaPao.pdf>.

ESTRATÉGIAS PARA AUMENTAR A BIODISPONIBILIDADE E MÉTODOS DE EXTRAÇÃO E PURIFICAÇÃO DA CURCUMINA (*Curcuma longa* L.): REVISÃO DE LITERATURA

Maria José do Amaral e Paiva *; Nataly de Almeida Costa ; Vanessa Caroline de Oliveira ; Nicole Marina Almeida Maia ; Daniele Juliana Rodrigues Gonçalves 
Érica Nascif Rufino Vieira ; Edgard Augusto de Toledo Picoli 

*Autor correspondente (Corresponding author) - Email: maria.j.amaral@ufv.br

Resumo: A curcumina é um polifenol extraído do açafrão da terra (*Curcuma longa* L.) É o principal curcuminóide presente na planta, tanto pela concentração como por ser aquele que proporciona os maiores benefícios para a saúde. Mas apesar de todos os benefícios a curcumina é um composto insolúvel em água, sua molécula é altamente instável, sendo influenciada pelo pH do meio, oxigênio, luminosidade, apresenta baixa biodisponibilidade sistêmica e baixa eficiência de rendimento em boa parte dos métodos de extração e purificação. Muitos estudos tem sido desenvolvidos, várias técnicas são empregadas e o uso de métodos tanto isolados quanto combinados com o objetivo de melhorar a eficiência de rendimento durante a extração e purificação, a preservação da molécula, e também aumentar o tempo de circulação a biodisponibilidade e a absorção intestinal. Os métodos tradicionais muitas vezes resultam na produção de resíduos que são altamente poluentes para o meio ambiente. Alguns utilizam solventes tóxicos e apresentam maior tempo para extração, comprometendo a integridade do composto. Por causa disso técnicas alternativas ecologicamente corretas, baseadas em novas substâncias ou novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para aumentar a eficiência de rendimento com baixo ou nenhum componente residual que possa trazer prejuízos ao meio ambiente, além disso novos métodos têm sido pesquisados para extração da curcumina em escalas maiores do que aquelas que já são atingidas. Assim o objetivo da presente revisão é apresentar estratégias utilizadas hoje para aumentar a biodisponibilidade e também métodos isolados ou combinados praticados para extração da curcumina com seus respectivos rendimentos.

Palavras chaves: biodisponibilidade; corantes naturais; curcumina; métodos de extração

Abstract: Curcumin is a polyphenol extracted from turmeric (*Curcuma longa* L.) It is the main curcuminoid present in the plant both because of its concentration and because it is the one that provides the greatest health benefits. But despite all the benefits, curcumin is a compound insoluble in water, its molecule is highly unstable, being influenced by the pH of the environment, oxygen, luminosity, it has low systemic bioavailability and low yield efficiency in most extraction and purification methods. Many studies have been developed, various techniques are employed and the use of both isolated and combined methods with the aim of improving the yield efficiency during extraction and purification, the preservation of the molecule, and also to increase the circulation time, the bioavailability and the intestinal absorption. Traditional methods often result in the production of waste that is highly polluting for the environment. Some use toxic solvents and take longer to extract, compromising the integrity of the compound. Because of this, alternative ecologically correct techniques based on new substances or new technologies are being developed to

increase yield efficiency with low or no residual components that could harm the environment. Many methods presented are intended for small-scale extraction. It can be concluded that it is necessary that the methods, isolated or integrated, continue to be developed in order to obtain curcumin in sufficient quantities to meet all the segments demanded by the industry.

Key words: bioavailability; curcumin; extraction methods; natural dyes

INTRODUÇÃO

A procura por versões naturais dos alimentos tem crescido nos últimos anos por serem considerados mais saudáveis. Componentes culinários como os corantes vegetais são preferidos em relação aos aditivos sintéticos. Um dos corantes naturais mais utilizados em alimentos, em escala mundial, é a cúrcuma (*Curcuma longa* Linnaeus) (Figura 1).

Devido às suas propriedades esta especiaria utilizada a milhares de anos tem recebido interesse especial de médicos e cientistas. Além do uso culinário também tem destinação para fins medicinais, cosméticos e como suplemento dietético, atualmente tem sido adicionada a bebidas, alimentos processados e nutracêuticos (1). Alimentos funcionais são desenvolvidos utilizando a cúrcuma como ingrediente por causa dos vários benefícios promovidos à saúde (Figura2) (4).

Cúrcuma é uma planta perene rizomatosa da família Zingiberaceae, a mesma do gengibre, é nativa do Sudeste Asiático e sua distribuição para outros continentes ocorreu através da Índia. A cor da cúrcuma pode variar do amarelo brilhante ao laranja escuro (2).

O componente ativo responsável pela maioria dos benefícios proporcionados pela cúrcuma é a curcumina (3). A curcumina pode ser extraída de *Curcuma longa* L., *Curcuma aromatica* Salisb, *Curcuma amada* Roxburgh, *Curcuma zedoaria* Roxburgh e *Curcuma xanthorrhiza* Roxburgh, a fonte mais utilizada é a *Curcuma longa* L. por possuir maior quantidade de curcumina e também pela extração ser economicamente mais viável (2).

Apesar de todos os benefícios proporcionados à saúde a curcumina é um composto insolúvel em água, a molécula é instável às variações de pH, à presença de oxigênio, à luminosidade e apresenta baixa biodisponibilidade sistêmica, (5).

Assim o objetivo da presente revisão é apresentar estratégias e métodos, isolados ou combinados, que estão sendo utilizadas para aumentar a biodisponibilidade e melhorar a eficiência de extração desse composto bioativo.

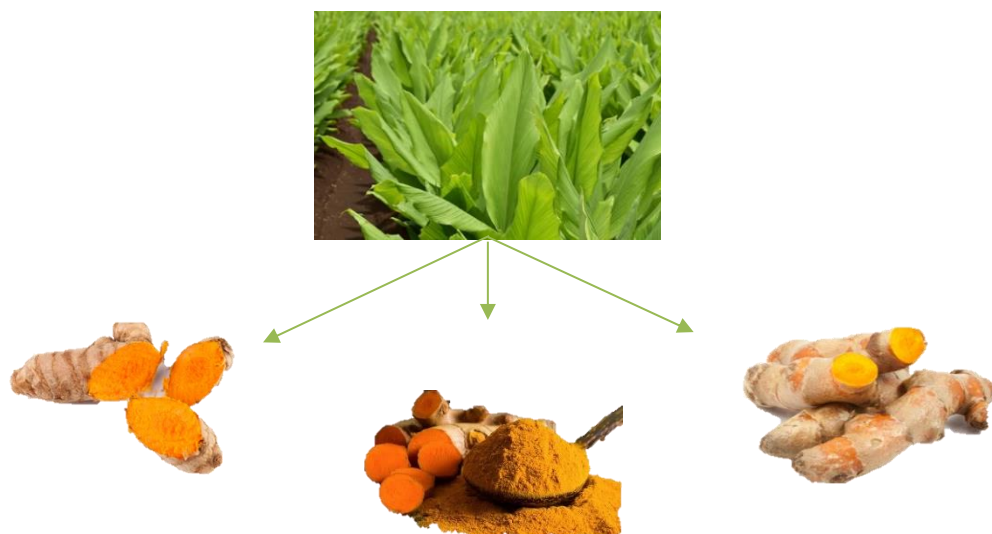


Figura 5 - *Curcuma longa* L. Fotos: Shutterstock

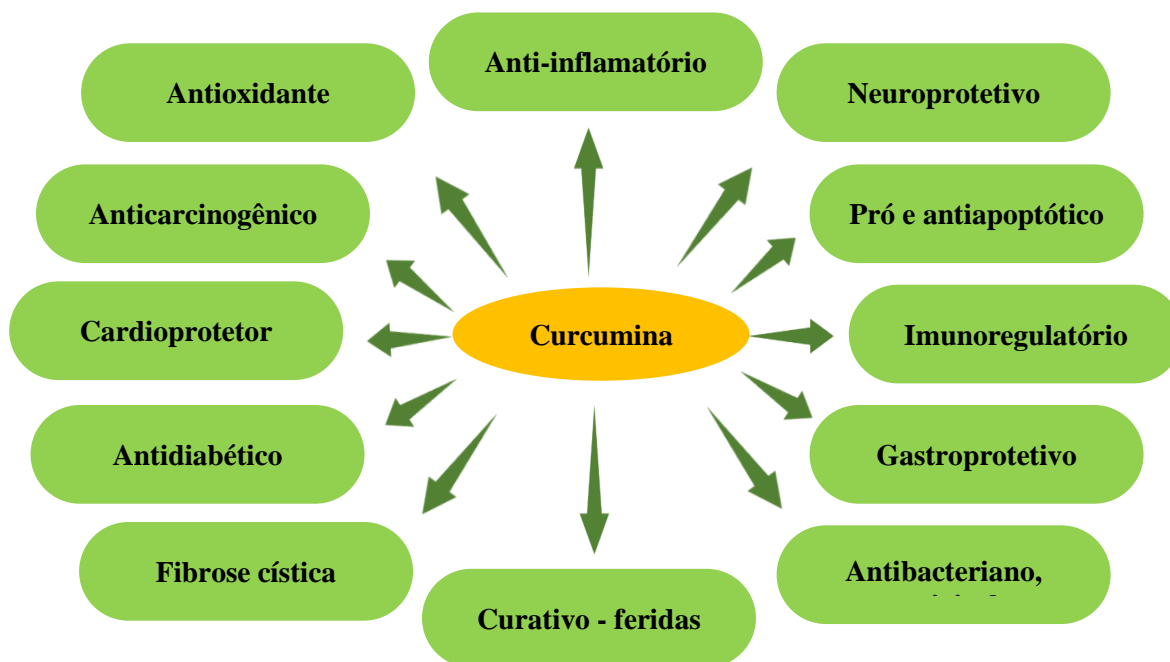


Figura 2 - Propriedades farmacológicas da curcumina. Strimpakos & Sharma (6).

COMPOSIÇÃO E BIODISPONIBILIDADE

A composição da cúrcuma pode variar em função de fatores como a cultivar, o clima, fertilidade do solo e também o nível de maturação dos rizomas, mas de forma geral é composta por 1,8 - 5,4 % de pigmentos que são responsáveis pela coloração característica; 1,0 - 5,0 % de óleo essencial; 25 - 50 % de amido; 4,0 - 10,0 % de proteínas; 2,0 - 7,0 % de fibras e 3,0 - 7,0 % de cinzas (2).

Após a secagem da cúrcuma são obtidos, a cúrcuma em pó, o extrato de cúrcuma e a curcumina purificada que é o principal cromóforo e representa de 2,5 a 8,1 % (7).

Os principais compostos bioativos presentes na cúrcuma são curcumina 1,7-dis (4-hidroxi-3-metoxifenil) hepta-1,6-dieno-3,5-dione; desmetoxicurcumina 1-(4-hidroxipentenil) -7-(4-hidroxi-3-metoxipentenil) hepta-1,6-dieno-3,5-dione e bisdesmetoxicurcumina 1,7-bis(4-hidroxipentenil) hepta-1,6-dieno-3,5-dione nas proporções de 70-77%, 18-20% e 5-10% respectivamente e são denominados comumente de curcuminóides, em 1993 foi isolado o quarto curcuminóide ciclocurcumina, presente apenas em traços (8) (Figura 3).

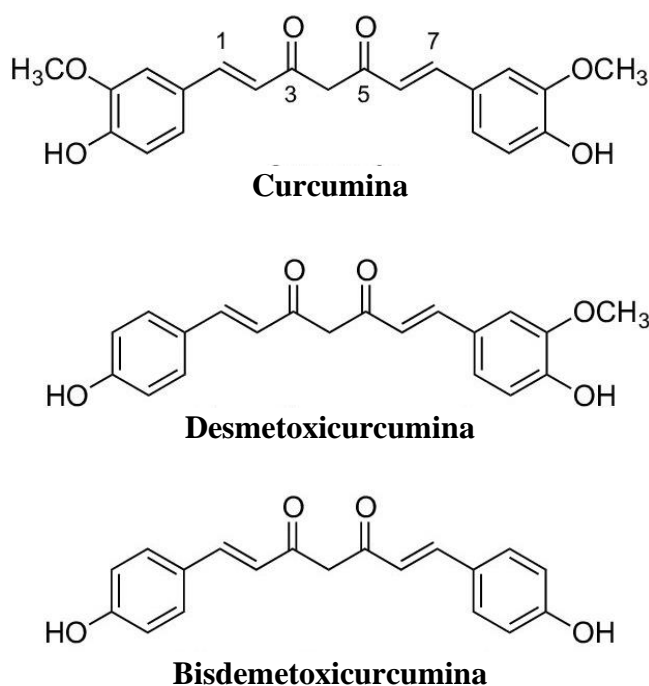


Figura 3 - Estrutura química dos três principais curcuminóides da cúrcuma. Fonte: Nantasenammat et al. (9)

O composto encontrado em maior quantidade é a curcumina denominada também por difluoroilmetano e é aquele que mais colabora com os benefícios, descritos da cúrcuma, para promover a saúde (10). A curcumina e seus metabólitos formam as β -dicetonas que possuem várias propriedades farmacológicas (7)

Apesar dos muitos benefícios do uso da cúrcuma seus principais compostos bioativos, os curcuminóides, apresentam baixa biodisponibilidade pois são metabolizados e excretados rapidamente. Mesmo que a degradação seja rápida e assim a absorção não seja considerada boa, a ingestão através da dieta em diferentes matrizes alimentares, de acordo com Mahale et. al. (12), permitiu que fosse detectada a presença de curcuminóides no plasma humano, sendo necessárias mais pesquisas para verificar quais os efeitos farmacológicos desses baixos níveis na saúde.

De forma geral são necessárias dosagens altas de curcumina, que é o principal composto bioativo, para indução de respostas que promovem a saúde. Através de estudos das ações biológicas da curcumina administrada como açafrão cru de forma oral em humanos Singletary & Sharma (10) identificaram a baixa solubilidade em água, baixa absorção intestinal e também degradação metabólica rápida, o que compromete a distribuição sistêmica e a biodisponibilidade. Pesquisas vem sendo desenvolvidos para identificar novas abordagens na forma de entregar o composto para que as propriedades benéficas sejam plenamente usufruídas. Uma das estratégias aplicadas é o preparo de formulações contendo outros compostos naturais juntamente com os curcuminóides para aprimorar a absorção, a piperina é um desses compostos (13).

A piperina é um composto orgânico alcalóide derivado da pimenta do reino que apresenta propriedades anti-inflamatórias, antidepressivas e antioxidantes, esta potencializa

os efeitos da cúrcuma na redução do estresse oxidativo e da resposta inflamatória por aumentar a biodisponibilidade dos curcuminóides (14).

De acordo Panahi (14) a combinação de piperina e curcuminóides proporcionou melhora significativa no estado oxidativo e resposta inflamatória em pacientes com Síndrome Metabólica, com redução da PCR.

Silva-Santana et. al. (13) compararam os efeitos da cúrcuma isolada e em combinação com piperina oferecidas a pacientes de hemodiálise e identificaram redução de malondialdeído, que é um marcador de estresse oxidativo, e também redução de ferritina no grupo que recebeu a combinação de cúrcuma e piperina, mostrando que essa combinação pode ser eficiente para modular tanto a resposta inflamatória quanto e estresse oxidativo em pacientes de hemodiálise.

Outra estratégia aplicada para aumentar a biodisponibilidade da curcumina e de outros curcuminóides é sua complexação ou incorporação em micelas, microemulsões, lipossomas, nanopartículas, moléculas lipídicas e de biopolímeros que permitem a circulação do composto por mais tempo por oferecer maior resistência aos processos durante a metabolização (Figura 4) (10, 11, 15, 16, 17 18).

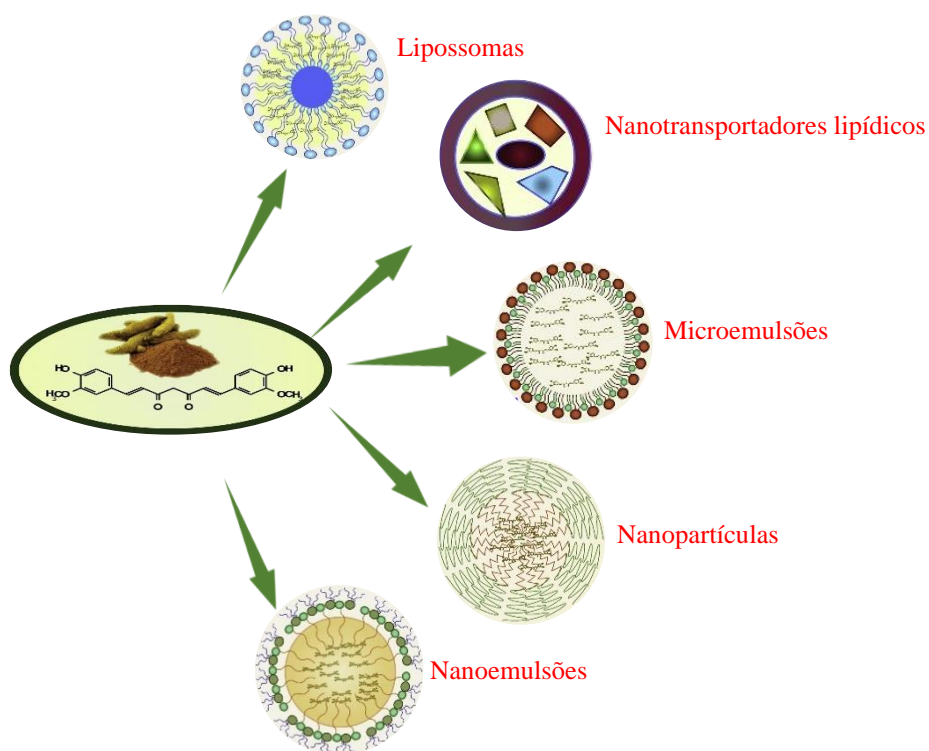


Figura 4 - Estratégias para aumentar a biodisponibilidade da curcumina através de complexação e incorporação. Fonte: Yixuan et. al. (18).

Púrpora et. al. (16) avaliaram a biodisponibilidade da curcumina em formulações complexadas com γ -ciclodextrinas comparadas com extrato de curcumina não formulado padronizado, formulação comercial de fitossoma de curcumina e curcumina com óleos essenciais do próprio açafrão e os resultados apontaram, significativamente, que a formulação complexada com γ -ciclodextrina proporcionou melhor absorção da curcumina em humanos saudáveis, o que foi verificado através das maiores concentrações plasmáticas médias de

curcumina e curcuminóides totais, medidos por HPLC-MS/MS. A ciclodextrina, oligossacarídeo cíclico, forma um composto molecular com compostos lipofílicos melhorando assim a dispersão aquosa e a biodisponibilidade da curcumina.

O encapsulamento também pode aumentar a biodisponibilidade sistêmica desse composto. Neves et. al. (5) encapsularam a curcumina com o leite em pó, os resultados mostraram estabilidade da atividade antioxidante da curcumina e bons rendimentos. Isso ocorreu porque o leite em pó contém micelas de caseínas que são anfifílicas, ou seja, possuem uma região hidrofílica e uma hidrofóbica que é solúvel em lipídios e solventes orgânicos, essas micelas apresentam porosidade assim são ideais para carreamento da curcumina que é hidrofóbica. A encapsulação foi por spray-drying e as avaliações da estabilidade foram realizadas ao longo do tempo de armazenamento.

Pesquisas mais recentes vêm mostrando também a influência da microbiota intestinal na degradação dos curcuminóides. Bresciani et. al. (19) ao estudarem o metabolismo colônico humano dos curcuminóides em resposta a extratos de curminóides formulados e não formulados com lecitina, em modelo in vitro por 24 horas, detectaram maiores concentrações de bis(demetil)-tetraidrocurcumina e bis(demetil)-hexaidrocurcumina no extrato formulado com lecitina

De acordo com Púrpura et. al. (16) os microrganismos que colonizam o trato gastrointestinal exercem importante papel na degradação desses compostos em vários metabólitos. A ação dos microrganismos que promove a maior solubilização da curcumina é realizada através de mudança estrutural na molécula via efeito enzimático, como a glicosilação em hidroxila fenólica, desmetoxilação ou conexão do grupo hidrofílico que tem a finalidade de degradar a curcumina em seus derivados, em metabólitos e também em análogos (20).

No estudo de Tan et. al. (21) foi realizada a avaliação de um modelo in vitro para metabolização dos três principais curminóides da cúrcuma, nas seguintes proporções 80,1% curcumina, 15,6%, desmetoxicurcumina e 2,6% bis-desmetoxicurcumina, por starters iniciais de fezes humanas por 24 horas. Após o período de incubação e análise dos metabólitos resultantes, através da cromatografia líquida de ultra alta eficiência e espectrometria de massa com armadilha de íons (UHPLC-MSn), foi verificado que cerca de 24% da curcumina, 61% da desmetoxicurcumina e 87% da bis-desmetoxicurcumina sofreram degradação pela microbiota fecal. Os três principais metabólitos identificados foram a tetrahidrocurcumina (THC), ácido diidroferúlico (DFA) e um metabólito com uma massa precisa de 181,08734, identificado como 1-(4-hidroxi-3-metoxifenil)-2-propanol. Os autores sugerem estudos adicionais para averiguação da biodisponibilidade da curcumina nesses produtos oriundos da degradação pela microbiota fecal.

Os metabólitos da curcumina ingerida por via oral são reduzidos a dihidrocurcumina e tetrahidrocurcumina que são conjugados com glicuronídeo e/ou sulfato, resultando em curcumina glicuronósido, dihidrocurcumina glicuronósido, tetrahidrocurcumina glicuronósido ou monossulfato correspondente e mistura de sulfato/glucuronosídeo (16).

Apesar dos esforços com as pesquisas já desenvolvidas novos estudos se fazem necessários para aumentar o tempo de circulação da curcumina, sua biodisponibilidade e conseqüentemente a absorção intestinal. Outro fator ao qual os cientistas tem se dedicado a estudar é a forma como a curcumina é extraída já que, de forma geral, seu rendimento é considerado baixo.

MÉTODOS PARA EXTRAÇÃO DA CURCUMINA

Vários métodos são aplicados para extração da curcumina, cada método tem suas vantagens, desvantagens, e também diferentes taxas de rendimento. A extração da curcumina

e dos outros curcuminóides da cúrcuma pode ser feita por metanol, etanol, acetonitrila, dimetil sulfóxido, acetona e outros solventes que sejam polares, visto que os curcuminóides são insolúveis em água e éter, além desses sua dissolução também pode ser em alguns solventes hidrocarbonetos, como hexano e ciclohexano. Para a escolha do solvente deve ser analisada a sua eficiência de extração e sua recuperação, para que os níveis residuais sejam mínimos (22, 23).

A extração com solventes químicos, de acordo com Rao et. al, (24), apesar de ser economicamente mais viável pode deixar contaminantes tanto de reagentes como de catalisadores. Outra opção é a extração por equipamentos, mas este apresenta menor eficiência por causa do desperdício de matéria prima e presença de compostos voláteis (25, 18).

Pode também ser aplicado pré-tratamento com enzimas para promover o rompimento das membranas e dos constituintes fibrosos da parede celular do vegetal melhorando o rendimento de extração, de acordo com Jiang et al. (26), as condições desse modelo de extração proporcionam ganhos ao meio ambiente e é economicamente viável.

Devido à instabilidade da estrutura da molécula de curcumina quanto à pH, luminosidade, altas temperaturas e até mesmo toxicidade de muitos solventes utilizados, técnicas alternativas de extração estão sendo desenvolvidas no decorrer dos anos de pesquisa, como a utilização dos fluídos subcríticos, supercríticos e líquidos pressurizados. A técnica do CO₂ supercrítico é descrita como um método que não polui o meio ambiente como alguns métodos convencionais, mantém a integridade dos compostos, é de baixo custo e não inflamável (27, 28).

As técnicas de extração também podem ser combinadas para que sejam realizadas de forma integrada otimizando as condições de processo e preservando a integridade do composto. Arachchilage et. al. (29), aplicaram o processamento a alta pressão como pré-tratamento para extração da curcumina através dos métodos de Soxhlet e assistido por ultrassom. Os autores encontraram diferença significativa nos tratamentos que foram submetidos ao pré-processamento em relação àqueles que não foram para os dois métodos de extração utilizados. O teor de curcumina no extrato foi de 76,2% no método de extração por Soxhlet e de 57,5% por ultrassom em relação ao controle sem pré-tratamento. A recuperação da curcumina foi superior ao controle em 32,9% e 23,8%, respectivamente.

Os principais métodos utilizados para extração e purificação da curcumina com os respectivos rendimentos estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Métodos de extração e purificação da curcumina

Método	Rendimento	Referências
Extração por ultrassom	73,28%	Shirsath et. al. (30)

Extração por enzimas	5,73%	Sahne et. al. (31)
Extração assistida por água subcrítica	76%	Kiamahalleh et. al, (32)
Extração através de CO ₂ supercrítico/Líquida pressurizada e antissolvente supercrítico	7,6%	Osório-Tobón et. al. (28)
Extração assistida por micro-ondas em amostra irradiada seca	68,57%	Wakte et. al. (33)
Extração assistida por micro-ondas em amostra irradiada úmida	90,47%	Wakte et. al. (33)
Extração com solventes verdes	5,30%	Liang et. al. (34)
Extração por solventes químicos	1,25%	Dutta (35)
Cristalização e resfriamento	99,4%	Horosanskaia et. al. (36)
Cromatografia em coluna	98,2%	Yang et. al. (37)
Cromatografia líquida semipreparativa de alta performance	99,5%	Mollayi et. al. (38)
Cromatografia em contracorrente de alta velocidade	98,26%	Pan et. al. (39)

As várias formas de extração e purificação da curcumina apresentam vantagens e desvantagens e também rendimentos diferentes, para identificar a que melhor se aplica é necessário analisar cada método baseado nos objetivos a serem atingidos, na viabilidade econômica, acesso a equipamentos, reagentes, se apresenta bom rendimento e se é ou não ecologicamente correto.

CONCLUSÃO

Por causa das descobertas ao longo dos anos sobre os benefícios da curcumina para a saúde, estudos devem continuar a serem realizados com o objetivo de identificar novas formas de aumentar a sua biodisponibilidade.

A busca dos consumidores por alimentação mais saudável tende a aumentar, assim a curcumina deverá ser cada vez mais demandado como ingrediente de alimentos funcionais e como suplemento

Métodos para extração desse composto em escalas maiores do que aquelas que já são atingidas são necessários para atender as demandas da indústria.

REFERÊNCIAS

1. Llano S, Henao C, Gomez A M, Ortiz A F G. Determination of contaminants in turmeric : Validation of LC-HRMS methods for the determination of pesticides and mycotoxins. *Microchemical Journal*, 2023; vol. 186, p. 108220.
2. Pereira A S, & Stringheta P C. Considerações sobre a cultura e processamento do açafrão. *Horticultura Brasileira*, 1998; v. 16, n. 2, p. 102-105.
3. Felnmeyer A, Johnson A, Using Twitter to model consumer perception and product development opportunities: A use case with Turmeric. *Food Quality and Preference*, 2022; vol. 98, p. 104499.
4. Chumroenphat T, Somboonwatthanakul I, Saensouk S, Siriamornpun S. Changes in curcuminoids and chemical components of turmeric (*Curcuma longa* L.) under freeze-drying and low-temperature drying methods, *Food Chem.* 2021; 339, 128121.
5. Neves M I L, Desobry-Banon S, Perrone I T, Desobry S, Petir J. Encapsulation of curcumin in milk powders by spray-drying : Physicochemistry , rehydration properties and stability during storage. *Powder Technology*, 2019;vol. 345, p. 601–607.
6. Strimpakos A, Sharma R A. Curcumin: preventive and therapeutic properties in laboratory studies and clinical trials. *Antioxidants and Redox Signaling* 2008; v. 10, n. 3, p 512 -545.
7. Rosa C D O B. Avaliação do efeito de compostos naturais–curcumina e hesperidina–na hiperlipidemia induzida em coelhos. Tese de Dissertação, Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 2009.
8. Ahsan H, Parveen N, Khan N U, Hadi S M. **Atividades pró-oxidantes, antioxidantes e de clivagem no DNA da curcumina e seus derivados desmetoxicurcumina e bisdemetoxicurcumina** *Chemico-Biological Interactions*, 1999; 163 pp. 161-175
9. Nantasenammat C, Simeon S, Hafeez A, Prachayasittikul V, Worachartcheewan A. Songtawee, et al. Elucidating the structure-activity relationship of curcumin and its biological activities. *In: Nova Science Publishers (ed.). Curcumin: Synthesis, Emerging Role in Pain Management and Health Implications.* Daniel Loic Pouliquen, 2014. p. 49-86.
10. Singletary K. Turmeric: potential health benefits. *Nutrition Today*, 2020; 55(1), 45-56.
11. Stanic Z. Curcumin, a compound from natural sources, a true scientific challenge - a review. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2017; vol. 72, no. 1, p. 1–12.
12. Mahale J, Singh R, Howells L, et al. Detection of plasma curcuminoids from dietary intake of turmeric-containing food in human volunteers. *Mol Nutr Food Res.* 2018;62.
13. Silva -Santana N C F, Rodrigues H C N, Martins T F P, Braga C C, Silva M A C, Cunha L C, et al. Turmeric supplementation with piperine is more effective than turmeric alone in attenuating oxidative stress and inflammation in hemodialysis patients : A randomized , double-blind clinical trial. *Free Radical Biology and Medicine*, 2022; vol. 193, p. 648–655.

14. Panahi Y, Hosseini M S, Khalili N, Naimi E, Majeed M, Sahebkar A. **Efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios da combinação curcuminóide-piperina em indivíduos com síndrome metabólica: um estudo controlado randomizado e uma meta-análise atualizada.** Clin. nutr. Supl. 2015; 34: p. 1101 – 1108.
15. Briskley D, Sax A, Mallard A R, Rao A. Increased bioavailability of curcumin using a novel dispersion technology system (LipiSpense®). European Journal of Nutrition, 2019; vol. 58, no. 5, p. 2087–2097.
16. Purpura M, Lowery R P, Wilson J M, Mannan H, Münch G, Razmovski-Naumovski V. Analysis of different innovative formulations of curcumin for improved relative oral bioavailability in human subjects. European Journal of Nutrition, 2018; vol. 57, no. 3, p. 929–938.
17. Yousef SA, Mohammed Y H, Namjoshi S, Grice J E, Benson H A E, Sakran W, et al. Mechanistic evaluation of enhanced curcumin delivery through human skin in vitro from optimised nanoemulsion formulations fabricated with different penetration enhancers. Pharmaceutics, 2019; 1; 11(12):639.
18. Yixuan L, Qaria M A, Sivasamy S, Jianzhong S, Daochen Z. Curcumin production and bioavailability: A comprehensive review of curcumin extraction, synthesis, biotransformation and delivery systems. Industrial Crops and Products, 2021; vol. 172, no. August, p. 114050.
19. Bresciani L, Favari C, Calani L, Francinelli V, Riva A, Petrangolini, et al. The effect of formulation of curcuminoids on their metabolism by human colonic microbiota. Molecules, 2020; vol. 25, no. 940, p. 1–10.
20. Cheng Y, Zhang J, Shao Y, Xu Y, Ge H, Yu B. et al. Enzyme-catalyzed glycosylation of curcumin and its analogues by glycosyltransferases from *Bacillus subtilis* ATCC 6633. Catalysts, 2019; 9, 734.
21. Tan S, Calani L, Bresciani L, Dall’asta M, Faccini A, Augustin MA, et al. The degradation of curcuminoids in a human fecal fermentation model. Int J Food Sci Nutr 2015; 66(7):790–796.
22. Goel A, Kunnumakkara A B, Aggarwal B B. Curcumin as “curecumin”: from kitchen to clinic. Biochem. Pharmacol. 2008; 75, 787–809.
23. Rodríguez E T, Santisteban R M, Galardis M B, Espinosa R H, Barrueco A L. Chemical modification of natural curcumin isolated from rhizomes of *Curcuma longa* L. Advancement in Medicinal Plant Research, 2014; v. 2, n. 2, p. 20-23.
24. Rao A B, Prasad E, Deepthi S S, Ansari, I.A. Synthesis and biological evaluation of glucosyl curcuminoids. Archiv Der Pharmazie, 2014; 347, 834–839.
25. Paulucci V P, Couto R O, Teixeira C C C, Freitas L A P. Optimization of the extraction of curcumin from *Curcuma longa* rhizomes. Revista Brasileira de Farmacognosia, 2013; 23(1), 94–100.

26. Jiang T, Ghosh R, Charcosset C. Extraction, purification and applications of curcumin from plant materials-A comprehensive review. Trends in Food Science and Technology, 2021; vol. 112, no. January, p. 419–430. DOI 10.1016/j.tifs.2021.04.015.
27. Silva E K, Meireles M A A. **Encapsulamento de compostos alimentares usando tecnologias supercríticas: aplicações de dióxido de carbono supercrítico como antissolvente** Saúde Pública Alimentar, 2014; (4) pp. 247 – 258.
28. Osorio-Tobón J F, Carvalho P I N, Rostagno M A, Meireles M A A. Process integration for turmeric products extraction using supercritical fluids and pressurized liquids: economic evaluation. Food Bioprod. Process. 2016; 98, 227–235.
29. Arachchilage G, Vichakshana D, Foo S C, Choo W S. Impact of high-pressure homogenization pretreatment on recovery of curcumin from turmeric by different combinations of extraction and drying methods. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 2023; vol. 83, p. 103249.
30. Shirsath S R, Sable S S, Gaikwad S G, Gogate P R. Ultrasound assisted curcumin recovery from *Curcuma aromatica*: Understanding the effect of different operating parameters. Chemical Engineering and Processing - Process Intensification, 2021; vol. 169, p. 108604.
31. Sahne F, Mohammadi M, Najafpour G D, Moghadamnia A A. Enzyme- assisted ionic liquid extraction of bioactive compound from turmeric (*Curcuma longa* L.): Isolation, purification and analysis of curcumin. Industrial Crops and Products, 2017; 95, 686–694.
32. Kiamahalleh M V, Najafpour-Darzi G N, Rahimnejad M, Mochadamnia A A, Kiamahalleh M V. High performance curcumin subcritical water extraction from turmeric (*Curcuma longa* L .). Journal of Chromatography B, 2016; vol. 1022, p. 191–198.
33. Wakte P S, Sachin B S, Patil A A, Mohato D M, Band T H, Shinde D B. Optimization of microwave , ultra-sonic and supercritical carbon dioxide assisted extraction techniques for curcumin from *Curcuma longa*. Separation and Purification Technology, 2011; vol. 79, no. 1, p. 50–55.
34. Liang H, Wang W, Xu J, Zhang Q, Shen Z, Zeng Z, Li Q. Optimization of ionic liquid-based microwave-assisted extraction technique for curcuminoids from *Curcuma longa* L. Food Bioprod. Process. 2017; 104, 57–65.
35. Dutta B. Study of secondary metabolite constituents and curcumin contents of six different species of genus (*Curcuma*). Journal of Medicinal Plants Studies, 2015; 3(5), 116–119.
36. Horosanskaia E, Yuan L, Seidel-Morgenstern A, Lorenz H. Purification of curcumin from ternary extract-similar mixtures of curcuminoids in a single crystallization step. Crystals, 2020; 10, 206.

37. Yang Z, Zheng S, Rui Z, Fang Y, Ji H. Enhanced separation and purification of curcuminoids on polyamide column via noncovalent interactions. *Sep. Purif. Technol.* 2015; 152, 155–159.
38. Mollayi S, Tamhidi S, Hashempour H, Ghassempour A. Recycling preparative high performance liquid chromatography for the separation of curcumin from *Curcuma longa* L. *Acta Chromatogr.* 2015; 27, 387–398.
39. Pan Y, Ju R, Cao X, Pei H, Zheng T, Wang W. Optimization extraction and purification of biological activity curcumin from *Curcuma longa* L by high-performance counter-current chromatography. *J. Sep. Sci.* 2020; 43, 1586–1592.

Capítulo 33

Doi.org/10.53934/9786599965814-33

RESPOSTAS MORFOFISIOLÓGICAS OCASIONADAS PELO ESTRESSE SALINO EM FEIJOEIROS: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA

Silvio Gentil Jacinto Junior *; Adélia Vitória Domingos Pontes ; Eliseu Marlônio Pereira de Lucena 

*Doutorando no Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da Universidade Estadual do Ceará – UECE. Autor correspondente (Corresponding author) – Email: silvio.gentil@aluno.uece.br

Resumo: Os impactos negativos do estresse por salinidade sobre diferentes culturas de interesse comercial, como os feijoeiros do gênero *Phaseolus* e *Vigna*, têm sido amplamente estudados nas últimas décadas. Os processos de salinização no solo são capazes de limitar o crescimento das plantas, influenciar negativamente sobre o seu metabolismo e reduzir a sua produtividade. Nesse sentido, objetivou-se apresentar as principais respostas morfofisiológicas de feijoeiros submetidos a condições de estresse salino, através de uma revisão da literatura de artigos utilizados nas duas últimas décadas. Foram avaliados como os parâmetros morfológicos (comprimento, altura e massa seca) da planta são afetados, bem como suas respostas fisiológicas diante do estresse imposto. Conclui-se que as variáveis de crescimento são afetadas negativamente pelo aumento da salinidade e assimilação fotossintética e o controle osmótico do feijoeiro é afetado pelo estresse salino.

Palavras-chave: estresse abiótico; *Phaseolus*; *Vigna*; salinidade.

Abstract: The negative impacts of salinity stress on different crops of commercial interest, such as *Phaseolus* and *Vigna* bean plants, have been widely studied in recent decades. Salinization processes in the soil can limit plant growth, negatively influencing their metabolism and reducing their productivity. In this sense, the objective was to present the main morphophysiological responses of common bean plants submitted to saline stress conditions, through a literature review of articles used in the last two decades. We evaluated how the morphological parameters (length, height and dry mass) of the plant are affected, as well as its physiological responses to the imposed stress. It is concluded that the growth variables are negatively affected by the increase in salinity and photosynthetic assimilation and the osmotic control of common bean is affected by saline stress.

Key Word: abiotic stress; *Phaseolus*; *Vigna*; salinity.

INTRODUÇÃO

Um dos principais fatores responsáveis pela limitação da produtividade agrícola consiste no processo de salinização dos solos, uma vez que grande parte das plantas cultivadas em solos não salinos é sensível a esse tipo de estresse ambiental (1). Para Pedrotti et al. (2), o uso inadequado de terras marginais e o manejo inapropriado da irrigação contribuem de forma significativa para o crescimento expressivo de áreas contendo solos

degradados por salinidade e sodicidade. Ademais, a variabilidade pluviométrica em regiões áridas e semiáridas e o advento das mudanças climáticas tem ocasionado o aumento da evaporação das águas utilizadas na irrigação com conseguinte acumulação de sais dissolvidos no solo (3).

No Brasil, é possível verificar a presença de solos salinos em todo país, especialmente na região Nordeste, onde cerca de 25% das áreas irrigadas apresentaram problemas associados à salinização (4). Silva et al. (5), contribuem para esta discussão afirmando que entre os fatores que estão relacionados à prevalência desse comportamento no semiárido nordestino estão: as condições físicas e químicas dos solos; à deficiência hídrica ocasionada pelos longos períodos de seca; a elevada taxa de evaporação em decorrência das altas temperaturas das regiões áridas e semiáridas, principalmente nos locais onde há desenvolvimento de agricultura irrigada.

Segundo Torche et al. (6), o processo de salinidade do solo ocorre quando a água utilizada para a irrigação apresenta quantidades consideráveis de sais solúveis, e estes, com o excesso de irrigação, são capazes de se acumular nas camadas superiores do solo; ou pela proximidade deste solo com o mar ou águas salobras; ou ainda pelo processo de capilaridade dos sais do subsolo na zona das raízes ocasionado pela evaporação excessiva. Além disso, a alta taxa evaporativa, a má gestão no uso da água de irrigação e a redução na pluviosidade podem corroborar para o aumento dos níveis de salinidade nessas áreas (7).

Campos et al. (8) afirmam que os impactos negativos do estresse por salinidade sobre diferentes culturas têm sido amplamente estudados. Os processos de salinização no solo são capazes de limitar o crescimento das plantas, influenciar negativamente sobre o seu metabolismo e reduzir a sua produtividade (6,9). De acordo com Camara e Willadino (10), as plantas glicófitas, como os feijões do gênero *Phaseolus*, são as mais sensíveis ao estresse salino uma vez que os sais dissolvidos no solo desequilibram o balanço hídrico da planta; inibem a fotossíntese; promovem alterações na distribuição dos fotoassimilados e causam prejuízos em outros parâmetros morfológicos, fisiológicos e bioquímicos.

Pesquisas que busquem investigar como o estresse salino é capaz de influenciar negativamente plantas glicófitas (não adaptadas para essas condições ambientais) são relevantes, uma vez que a maioria das leguminosas (que apresentam importância socioeconômica) é afetada por este tipo de estresse, e para driblá-lo, produzem uma série de alterações morfofisiológicas que possam atenuar o estresse abiótico a qual a planta está sendo exposta.

Diante disto, o objetivo deste trabalho é apresentar as principais respostas morfofisiológicas de feijoeiros submetidos a condições de estresse salino. Para desenvolver esta pesquisa foram utilizados artigos originais publicados nas principais bases de dados (Web of Science, Science Direct, Portal de Periódicos da Capes e Google Acadêmico) das duas últimas décadas (2002 – 2022).

DESENVOLVIMENTO

Schafranski *et al.* (11) definem os solos salinos como aqueles que apresentam condutividade elétrica (CE) à 25°C maior que $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ e menor que $7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Torche *et al.* (6) afirmam que o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é capaz de apresentar reduções expressivas de sua produtividade sob valores de condutividade elétrica maiores que $2 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Já Andrade *et al.* (12) declara que o feijão-caupi (*Vigna Unguiculata* L. Walp) é moderadamente tolerante à salinidade em relação ao feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerando valores de condutividade elétrica na água de irrigação em torno de $3,3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$.

Conforme Campos *et al.* (8), os feijões do gênero *Phaseolus* apresentam limites de condutividade elétrica no solo próximas a $1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$. Esses dados demonstram a sensibilidade de feijões do gênero *Phaseolus* frente ao aumento da condutividade elétrica no solo.

Taïbi *et al.* (13) investigaram o efeito da salinidade sobre o crescimento de dois genótipos de feijão-comum ('Tema' e 'Djadida') de alto e baixo rendimento, respectivamente. Quarenta mudas de cada genótipo foram submetidas a quatro regimes de irrigação (dez mudas por tratamento): controle (irrigado com solução nutritiva de Hoagland) e os demais tratamentos foram realizados adicionando-se concentrações crescentes (50, 100 e 200 mM) de NaCl na solução nutritiva por um período de sete dias. Os autores observaram os parâmetros pesos secos da parte aérea (SDW) e pesos secos das raízes (RDW) concluindo que a salinidade influenciou de forma negativa os parâmetros analisados pois eles diminuíram de forma gradativa à medida que a concentração de sais aumentava no solo.

Gomes de Ó *et al.* (14) ao estudarem os efeitos de cinco níveis de salinidade ($S_1=0,7 \text{ dS m}^{-1}$; $S_2=1,5 \text{ dS m}^{-1}$; $S_3=3,0 \text{ dS m}^{-1}$; $S_4=4,5 \text{ dS m}^{-1}$; $S_5=6,0 \text{ dS m}^{-1}$) sobre as variáveis morfológicas (altura das plantas, área foliar, número de folhas e diâmetro do caule) de dois genótipos de feijão-caupi ('Epace 10' e 'BRS Itaim') concluíram que estas variáveis diminuem de forma linear à medida que o grau de salinidade aumentava no solo.

Dessa forma, pode-se inferir que o aumento da salinidade no solo é capaz de influenciar negativamente sobre os parâmetros morfológicos e de crescimento em feijoeiros. De acordo com Andrade *et al.* (12), o acúmulo de sais na região radicular das plantas é capaz de diminuir a quantidade de água disponível para a fotossíntese; além de promover o acúmulo de determinados íons citotóxicos na célula vegetal, prejudicando seriamente as trocas gasosas.

Diante disto, os autores realizaram um experimento em delineamento experimental inteiramente casualizado composto por dois regimes de irrigação: baixa salinidade ($0,6 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) e alta salinidade ($5,1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$); dez genótipos (G_1 : MNCO1-649F-2-1, G_2 : MNCO3-736F-2, G_3 : PINGO DE OURO-1-2, G_4 : BRS GURGUÉIA, G_5 : BRS MARATAOÃ, G_6 : MNCO2-676F-3, G_7 : MNCO2-683F-1, G_8 : MNCO3-737F-5-4, G_9 : MNCO3-737F-5-9 e G_{10} : BRS TUMUCUMAQUE) e três repetições; com o objetivo de avaliar as trocas gasosas em função do grau de salinidade.

As trocas gasosas foram mensuradas através de um analisador de gases no infravermelho – IRGA e as variáveis analisadas foram: taxa de assimilação fotossintética (A), condutância estomática (g_s), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência instantânea no uso da água (A/E) e eficiência instantânea de carboxilação (A/C_i). Os resultados da pesquisa demonstraram que houve um aumento da concentração interna de CO_2 ocasionado pela redução na condutância estomática nas condições de alta salinidade. A transpiração não foi afetada de forma significativa para a maioria dos genótipos, entretanto, para a variável fotossíntese, foi observado comportamento oposto.

Pereira Filho *et al.* (15) ao estudarem dois genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidos a diferentes regimes de irrigação (50% e 100% de sua capacidade de campo) em cinco níveis de salinidade ($1,1$ à $5,1 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$) perceberam comportamento de redução linear para as variáveis fotossíntese, condutância estomática e transpiração à medida que o estresse salino era imposto. Quando analisada a eficiência no uso da água, observou-se que o genótipo irrigado com 50% de sua capacidade de campo na concentração $3,3 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ demonstrou maior eficiência no uso da água em relação à cultura irrigada, uma vez que a combinação do estresse salino e hídrico permitiram que a cultura se adaptasse de forma mais eficiente ao efeito dos estresses combinados. Trabalhos que retratam as principais respostas morfofisiológicas de feijoeiros submetidos ao estresse salino estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Levantamento bibliográfico de artigos contendo a metodologia e a conclusão de estudos sobre as respostas morfofisiológicas de feijoeiros submetidos ao estresse salino.

Artigo	Metodologia	Conclusão	Referência
Comportamento hídrico e crescimento do feijão <i>Vigna</i> cultivado em solos salinizados	Os tratamentos foram dispostos em um arranjo fatorial 2 x 4: formado por duas texturas de solo e quatro níveis de salinidade (4, 8 e 12 dS m ⁻¹ a 25 °C) além da testemunha, com cinco repetições.	A salinidade do solo ocasiona uma diminuição na altura das plantas, no número de folhas, na biomassa seca da parte aérea e no consumo de água pela redução do potencial hídrico foliar.	(16)
Efeito do estresse salino e da composição iônica da água de irrigação sobre variáveis morfofisiológicas do feijão caupi.	Foram utilizadas águas com seis níveis de condutividade elétrica (CE) (0; 2,5; 5,0; 7,5; 10,0 e 12,5 dS m ⁻¹), formuladas a partir de NaCl e de uma mistura de sais, semelhante a composição das águas de poços encontrados na região de coleta do solo (Pesqueira – PE). O experimento foi conduzido em blocos casualizados em fatorial 6x2, com 3 repetições.	O aumento da condutividade elétrica da água de irrigação provoca diminuição da massa específica foliar e, inversamente, o aumento da suculência foliar em feijão-caupi.	(17)
Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino.	As plantas foram submetidas a dois tratamentos: ao controle (solução nutritiva sem a adição de NaCl) e ao salino (solução nutritiva, contendo NaCl a 75 mM).	O feijão-de-corda apresentou maior acúmulo de íons na parte aérea que o sorgo, que se comportou como planta com boa capacidade de exclusão e retenção de íons. O maior acúmulo de íons potencialmente tóxicos nos limbos foliares das plantas de feijão-de-corda, contribuiu para o aumento da suculência.	(18)
Estresse salino sobre a nodulação em feijão-caupi	O delineamento experimental foi inteiramente casualizado e os tratamentos consistiram	Em relação à massa da parte aérea seca observou-se resposta linear negativa. A	(19)

	em cinco níveis de salinidade da água de irrigação (0, 1, 2, 4 e 8 dS m ⁻¹). Para a inoculação das sementes foi utilizado inoculante contendo a estirpe de <i>Bradyrhizobium</i> sp (BR 2001).	nodulação do feijão-caupi foi reduzida pelos níveis de salinidade mostrando uma sensibilidade da simbiose ao estresse salino	
Emergência e vigor de plântulas de genótipos de feijão-caupi sob estresse salino	Os níveis de condutividade elétrica da água foram: 0; 2,5; 5,0 e 7,5 dS m ⁻¹ . A tolerância do feijão-caupi foi avaliada através da redução relativa de matéria seca da parte aérea de cada genótipo.	O genótipo CE-182 mostrou-se mais tolerante nos níveis 2,5, 5,0 e 7,5 dS m ⁻¹ na água salinizada com solução de NaCl. No caso da solução salinizada pela mistura dos sais, os genótipos CE-9 e CE-551 foram mais tolerantes.	(20)
Germinação e crescimento inicial de variedades de feijão caupi submetidas a diferentes concentrações salinas	As sementes das cultivares BRS Tapaihum, BRS Pujante, BRS Acauã e BRS Marataoã foram semeadas em espumas, dispostas em bandejas e umedecidas com as seguintes concentrações de NaCl: 0, 50, 100, 150 e 200 mM.	As variedades de feijão caupi apresentaram perda na capacidade germinativa a partir da concentração de 50 mM de NaCl. Também foi verificado que a incidência da salinidade promoveu uma diminuição da velocidade com que as variedades realizaram seus eventos bioquímicos, fisiológicos, morfogênicos necessários ao processo de germinação e formação das novas plantas.	(21)

Fonte: Autores.

Todas essas alterações do ponto de vista fisiológico e bioquímico irão repercutir nos parâmetros morfológicos relacionados ao crescimento e a produtividade. Pode-se dividir o processo de salinidade de uma planta em duas fases: a primeira é mais rápida e ocorre quando o efeito da desidratação causa diminuição da pressão osmótica influenciando na interface

raiz-solo (22). Neste processo ocorre a inibição do crescimento das gemas laterais que consequentemente irão reduzir a sua parte aérea ocasionado também redução na expansão foliar (23).

A segunda é lenta e ocorre quando há acumulação de íons sódio (Na^+) e cloro (Cl^-) nas folhas. As quantidades tóxicas de Na^+ causarão a inibição bioquímica da fotossíntese e promovendo a inibição de vários processos fotossintéticos (24). A presença de água na célula vegetal é fundamental para realização da fotossíntese contribuindo também para manutenção da sua turgescência celular(25). O acúmulo de sais nos vegetais é capaz de causar desidratação à nível celular com redução rápida na pressão osmótica que, como efeito secundário, aumentará as concentrações de determinados íons que posteriormente causarão citotoxicidade iônica; este é responsável pela desnaturação de proteínas que por conseguinte irão favorecer a desestabilização das membranas, pela redução do processo de hidratação dessas macromoléculas (26). Com o processo de desidratação celular e para evitar uma maior perda de água, a cultura irá reduzir a sua condutância estomática e através disso inibir a fotossíntese pelo fechamento dos estômatos. A redução na transpiração acompanha este mesmo comportamento (27).

Devido à diminuição nas taxas de assimilação de carbono, todo gás carbônico interno é direcionado para a produção de fotoassimilados e substâncias capazes de proteger o vegetal da desidratação ou melhorar os processos de controle osmótico (28). A eficiência no uso da água também é melhorada, pois este mecanismo atua tanto na tolerância à desidratação como também na diluição de íons tóxicos presentes no interior da célula vegetal (12).

CONCLUSÕES

A partir dos estudos aqui apresentados é notório que o aumento progressivo dos níveis de salinidade do solo pode influenciar de forma prejudicial seus parâmetros morfológicos (de crescimento e produtividade), bem como também as variáveis ligadas as trocas gasosas, como a fotossíntese e as relações hídricas. Grande parte das respostas fisiológicas demonstradas pelos feijoeiros quando cultivados em solos salinos são explicadas a partir do desequilíbrio causado pela acumulação de íons indesejáveis nas raízes destas plantas, comprometendo a absorção de água e portando suas relações hídricas.

A partir do exposto, pode-se concluir, que essa revisão da literatura é capaz de apresentar os principais mecanismos de resposta de feijoeiros ao estresse salino a partir da demonstração e discussão dos resultados de pesquisas que buscam investigar as respostas dos feijões do gênero *Phaseolus* e *Vigna* submetidos a diferentes níveis de salinidade.

REFERÊNCIAS

1. García M, Gil GG, Sanabria ME. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, daño oxidativo y concentración foliar de metabolitos secundarios en dos variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia*. 2010;35(11):840–6.
2. Pedrotti A, Chagas RM, Ramos VC, Prata AP do N, Lucas AAT, Santos PB dos. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. *Rev Eletrônica em Gestão, Educ e Tecnol Ambient [Internet]*. 2015;19(2):1308–24. Available from: <http://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/16544/pdf>
3. Oliveira AB de; Gomes-Filho E, Enéas-Filho J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. *Enciclopédia Biosf Cent Científico Conhecer*. 2010;6(11):1–16.
4. Netto ADOA, Gomes CCS, Lins CCV, Barros AC, Campeche LFDSM, Blanco FF. Características químicas e salino-sodicidade dos solos do perímetro irrigado








- Califórnia, SE, Brasil. Cienc Rural. 2007;37(6):1640–5.
5. Silva JL de A, Alves SSV, Nascimento IB do, Silva MVT da; Medeiros JF de. Evolução da salinidade em solos representativos do agropólo Mossoró-Assu cultivado com meloeiro com água de diferentes salinidades. Agropecuária científica no semi-árido [Internet]. 2011;7(4):26–31. Available from: www.cstr.ufcg.edu.br/acsa e <http://150.165.111.246/ojs-patos/index.php/ACSA/login>
 6. Torche Y, Blair M, Saida C. Biochemical, physiological and phenological genetic analysis in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) under salt stress. Ann Agric Sci [Internet]. 2018;63(2):153–61. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aos.2018.10.002>
 7. Silva JON da, Santos JPA de S, Salvador KR da S, Leite RMC, Aviz RO de, Silva NSG da, et al. O uso da irrigação com água salina pode reduzir o déficit de forragem no Semiárido brasileiro? Res Soc Dev. 2022;11(5):e45611528357.
 8. Campos G, García M, Pérez D, Ramis C. Respuesta de 20 variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L.) ante el estrés por NaCl durante la germinación y en fase plantular. Bioagro. 2011;23(3):215–24.
 9. Gondim TM de S, Cavalcante LF, Beltrão NE de M. Aquecimento Global: salinidade e consequências no comportamento vegetal. Rev Bras Ol e Fibrosas - RBOF. 2010;14(1):37–54.
 10. Willadino L, Camara TR. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. Enciclopédia Biosf. 2010;6(11):1–23.
 11. Schafranski BP, Morais GI De, Carvalho TC De. Effects of salinity stress in bean seeds from commercial groups carioca and preto. Appl Res Agrotechnology. 2020;12(03):17–30.
 12. Andrade JR de, Maia Júnior S de O, Silva RFB da, Barbosa JW da S, Nascimento R do, Alencar AEV de. Trocas Gasosas em genótipos de feijão-caupi irrigados com água salina. Rev Bras Agric Irrig. 2018;12(3):2653–60.
 13. Taïbi K, Taïbi F, Ait Abderrahim L, Ennajah A, Belkhodja M, Mulet JM. Effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidant defence systems in *Phaseolus vulgaris* L. South African J Bot. 2016;105:306–12.
 14. Ó LMG do, Silva TC da, Sousa GG de, Saraiva KR, Souza MVP de. Crescimento e solutos orgânicos do feijão-caupi submetido a níveis de salinidade da água de irrigação. Rev Bras Agric Irrig. 2017;11(7):1934–44.
 15. Pereira Filho J V., Viana TVDA, De Sousa GG, Chagas KL, De Azevedo BM, Pereira CCMDs. Physiological responses of lima bean subjected to salt and water stresses. Rev Bras Eng Agric e Ambient. 2019;23(12):959–65.
 16. Coelho JBM, Barros M de FC, Bezerra Neto E, Correa MM. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. Rev Bras Eng Agrícola e Ambient. 2013;17(4):379–85.
 17. Leite JVQ, Fernandes PD, Oliveira WJ de, Souza ER de, Santos DP dos, Santos CS dos. Efeito do estresse salino e da composição iônica da água de irrigação sobre variáveis morfofisiológicas do feijão caupi. Rev Bras Agric Irrig. 2017;11(6):1825–33.
 18. Trindade AR, Lacerda CF De, Filho EG, Prisco JT, Bezerra MA. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-decorda, ao estresse salino. 2006;(85):804–10.
 19. Medeiros R, Santos V, Araújo A, Oliveira Filho C. Estresse salino sobre a nodulação em feijão-caupi. Rev Caatinga. 2008;21(5):202–6.
 20. Almeida WS de, Fernandes FRB, Bertini CHC de M, Pinheiro M de S, Teófilo EM.

- Emergência e vigor de plântulas de genótipos de feijão-caupi sob estresse salino. *Rev Bras Eng Agrícola e Ambient.* 2012;16(10):1047–54.
21. Coelho DS, Silva JAB da, Nascimento RL, Costa JD de S, Seabra TX. Germinação e crescimento inicial de variedades de feijão caupi submetidas a diferentes concentrações salinas. *Rev Verde Agroecol e Desenvol Sustentável [Internet].* 2017 Jun 17;12(2):261. Available from: <http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/4419>
 22. Gomes Filho A, Nascimento Rodrigues E, Castro Rodrigues T, Júnior Neres Santos V, Ferreira Alcântara S, Neres de Souza F. Estresse hídrico e salino na germinação de sementes de feijão-caupi cv. BRS Pajeú. *Colloq Agrar.* 2019;15(4):60–73.
 23. Oliveira FDA de, Oliveira MKT de, Lima LA, Alves RDC, Régis LR de L, Santos ST dos. Estresse salino e biorregulador vegetal em feijão caupi. *IRRIGA [Internet].* 2017 Jul 20;22(2):314–29. Available from: <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/2180>
 24. Carneiro Praxedes SS, da Silva Sá FV, Neto MF, Loiola AT, Lopes Reges LB, Jales GD, et al. Tolerance of seedlings traditional varieties of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to salt stress. *Semin Agrar.* 2020;41(5):1963–74.
 25. Bianchi L, Germino GH, Silva M de A. Adaptação das plantas ao déficit hídrico. *Acta Iguazu.* 2016;5(4):15–32.
 26. Nunes LR de L, Pinheiro PR, Cabral FAS, da Silva JB, Dutra AS. Ascorbic acid of cowpea seeds under saline stress. *J Seed Sci.* 2019;41(4):441–51.
 27. Prazeres SS, De Lacerda CF, Barbosa FEL, Amorim AV, Araujo ICDS, Cavalcante LF. Crescimento e trocas gasosas de plantas de feijão-caupi sob irrigação salina e doses de potássio. *Rev Agro@Mambiente on-Line.* 2015;9(2):111.
 28. Deuner C, Maia M de S, Deuner S, Almeida A da S, Meneghello GE. Viabilidade e atividade antioxidante de sementes de genótipos de feijão-miúdo submetidos ao estresse salino. *Rev Bras Sementes [Internet].* 2011;33(4):711–20. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-31222011000400013&lng=pt&tlng=pt.

Capítulo 34

Doi.org/10.53934/9786599965814-34

AVALIAÇÃO FITOQUÍMICA DA POLPA FRESCA E DO RESÍDUO DE Prensagem DO FRUTO DO NONI, *Morinda citrifolia* L.

Isabelle Bruna Menezes Ferreira Alencar ^{*1}; Laisa Graziely Araújo Magalhães ¹;
Gabriel Maciel Nogueira ¹; Katarina Maria dos Reis Araújo ¹; Jorge Cláudio
Freire da Nóbrega ²; Kellen Miranda Sá ³; Mary Anne Medeiros Bandeira ⁴

1 - Graduando(a) em Farmácia pela Universidade Federal do Ceará; 2 - Graduado em Geologia pela Universidade Federal do Ceará; 3 - Mestra em Políticas Públicas e Gestão do Ensino Superior pela Universidade Federal do Ceará, farmacêutica no Horto de Plantas Mediciniais Francisco José de Abreu Matos na Universidade Federal do Ceará; 4 - Professora orientadora, Doutora em Química pela Universidade Federal do Ceará, Diretora do Horto de Plantas Mediciniais Francisco José de Abreu Matos

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: isabellebrunam@gmail.com

Resumo: O Noni, *Morinda citrifolia*, é um arbusto de até 10m de altura da família *Rubiaceae* cultivada em regiões tropicais, trata-se de um arbusto perene em que suas folhas são oblongo-ovadas, as suas flores brancas perfumadas e seu fruto é branco-cremoso, de forma oval do tipo sincarpo. É uma planta medicinal em que todas suas partes são utilizadas popularmente como fitoterápico, a parte mais utilizada é o fruto, que contém diversos glicosídeos e possui propriedade analgésica, antioxidante, anti-inflamatória, hipotensora arterial e anticancerígena. Além disso, outro aspecto a ser considerado, sob a ótica sustentável, é a busca pelo reaproveitamento de resíduos do processo extrativo como subproduto de caráter bioativo. Este trabalho objetiva comparar os dados obtidos nos testes experimentais de avaliação fitoquímica da polpa fresca e da polpa obtida pelo processo de prensagem do Noni, deste modo, contribuindo para posterior uso fitoterápico do subproduto natural derivado do noni. Realizou-se a prospecção fitoquímica de acordo com roteiro sequencial em que foram realizados ensaios fitoquímicos para as seguintes classes químicas: Esteroides e Triterpenos; Saponinas; Taninos; Flavonoides; Antocianinas; Cumarinas; Antraquinonas; Amida; Alcaloides; Açúcares redutores; Heterosídeos digitálicos. Utilizou-se uma escala de intensidade utilizando até cinco cruzes. Como resultado, a polpa oxidada apresentou maior intensidade das classes químicas: alcaloides, cumarinas, açúcares redutores e heterosídeos digitálicos. Assim, é necessário estudos posteriores avaliando outras condições da polpa e comparando com outras partes do noni, além de realizar a caracterização e identificação dos compostos individualmente.

Palavras-chave: fitoquímica; *Morinda citrifolia*; reaproveitamento

Abstract: The Noni, *Morinda citrifolia*, is a shrub up to 10m in height from the *Rubiaceae* family grown in tropical regions, it is a perennial shrub in which its leaves are oblong-ovate, its white flowers are fragrant, and its fruit is creamy white, oval-shaped and syncarp-like. It is a medicinal plant in which all its parts are popularly used for herbal purposes, the most used part is the fruit, which contains several glycosides and has analgesic, antioxidant, anti-inflammatory, arterial hypotensive and anticancer properties. In addition, another aspect to

be considered, from a sustainable perspective, is the search for the reuse of residues from the extractive process as a bioactive by-product. This work aims to compare the data obtained in the experimental tests of phytochemical evaluation of the fresh pulp and the pulp obtained by the Noni pressing process, thus contributing to the subsequent phytotherapeutic use of the natural by-product derived from Noni. Phytochemical prospecting was carried out according to a sequential script in which phytochemical tests were carried out for the following chemical classes: Steroids and Triterpenes; Saponins; Tannins; Flavonoids; Anthocyanins; Coumarins; Anthraquinones; Amide; Alkaloids; Reducing sugars; Digitalis heterosides. An intensity scale using up to five crosses was used. As a result, the oxidized pulp showed greater intensity of chemical classes: alkaloids, coumarins, reducing sugars and digitalis heterosides. Thus, further studies are necessary, evaluating other conditions of the pulp and comparing it with other parts of the noni, in addition to performing the characterization and identification of the compounds individually.

Key Word: phytochemistry; *Morinda citrifolia*; reuse

INTRODUÇÃO

O Noni, *Morinda citrifolia*, é um arbusto de até 10m de altura da família *Rubiaceae* cultivada em regiões tropicais como Índia, China, Austrália, algumas regiões da África e do Caribe, além do Brasil. É capaz de crescer em terrenos de diferentes tipos, como rochosos, arenosos e salinos (1).

Conforme o site Horto Didático de Plantas Medicinais da Universidade Federal de Santa Catarina (2), possui folhas oblongo-ovadas de 10-30 cm, com ápice agudo e base arredondada. Possui flores brancas perfumadas, dispostas em cabeças globosas ou ovais, corola tubular de aproximadamente 10 mm. Seu fruto é branco-cremoso, de forma oval, medindo de 5-7 cm, do tipo sincarpo, ou seja, trata-se de um conjunto de frutos soldados entre si. (imagem 1).

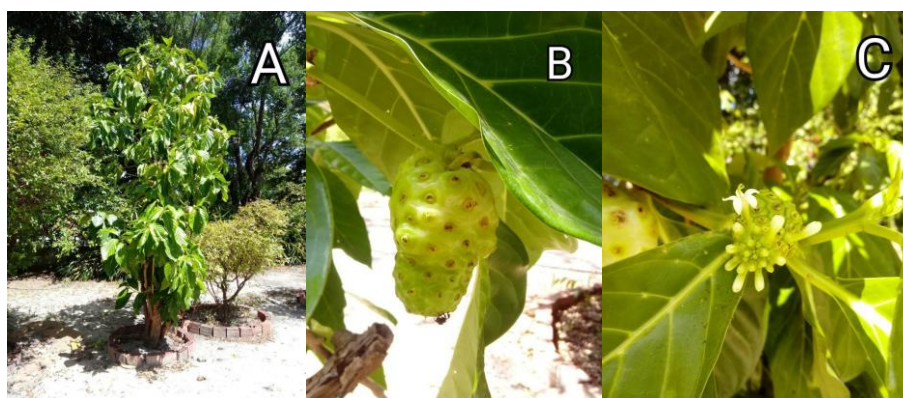


Imagem 1 - Visão do Hábito [A], fruto na visão íntegra [B] e na visão superior com flor [C] do Noni no Horto de Plantas Medicinais FJA Matos da UFC

É uma planta medicinal em que todas suas partes são utilizadas popularmente com fim fitoterápico (1), destaca-se, contudo, que variando seu fitocomplexo, conseqüentemente,

varia sua indicação terapêutica (3). Já foram identificados mais de 150 compostos fitoquímicos, principalmente, compostos fenólicos como algumas antraquinonas; glicosídeos iridóides como aucubina e asperuloside; cumarinas como escopoletina; alcaloides como xeronina e vários ácidos orgânicos (3).

Nesse tocante, a parte mais utilizada é o fruto, que contém diversos glicosídeos como ácido asperulosídico (3), ao qual atribui-se várias propriedades, elencadas como analgésica, antioxidante, antiinflamatório, hipotensora arterial e anticancerígena (2).

O suco da fruta do noni é amplamente usado visando seus benefícios terapêuticos, destaca-se, todavia, que é necessário padronizar todo processamento para evitar reações indesejadas, aplicando conhecimento de controle de qualidade vegetal, dado que a fermentação pode alterar a ação biológica da planta. Inclusive, diminuindo o RSA (atividade de eliminação de radicais livres) em até 90% conforme estudo de análise do suco fermentado por três meses (4).

Além disso, outro aspecto a ser considerado, sob a ótica sustentável, é a busca pelo reaproveitamento de resíduos do processo extrativo como subproduto de caráter bioativo. Há vários estudos referentes ao uso de coprodutos oriundos do processamento de frutos na indústria alimentícia, como forma de aumentar o potencial nutracêutico do que é denominado bagaço e, assim, permite a recuperação de compostos bioativos (5).

Nesse sentido, este trabalho tem por objetivo comparar os dados obtidos nos testes experimentais de avaliação fitoquímica da polpa fresca e da polpa obtida pelo processo de prensagem do Noni, deste modo, contribuindo para posterior uso do produto natural derivado do noni. Diante disso, busca-se avaliar a possibilidade de aproveitamento fitoterapêutico do resíduo do método de prensagem do fruto da *Morinda citrifolia* após extração do seu suco.

MATERIAL E MÉTODOS

Foi obtida a polpa residual a partir da prensagem, com frutos maduros, para separar a polpa das cascas e caroço, em seguida, com a polpa extraída, o fluido celular da polpa fibrosa foi separado através de filtração simples durante cerca de 24 h. O fluido amarelado, de aspecto semelhante ao mel, foi submetido a uma segunda filtração com filtro mais fino, com intuito de separar fases que contenham moléculas maiores, as quais poderiam ser atingidas por fungos ou bactérias que comprometessem a pureza dos componentes naturais do extrato fluido.

Após a extração, a polpa obtida (PO) foi mantida em refrigeração comum, assim como a polpa fresca (PF) e o suco proveniente da prensagem (10° à 16°C). Posteriormente, realizou-se a prospecção fitoquímica de acordo com roteiro sequencial, sendo elaborado a partir de Matos (6).

Ressalta-se que foram preparados quatro extratos, previamente, em que, para cada, adicionou-se 6 g da polpa para 50 mL de solvente, obtendo-se os extratos clorofórmico, aquoso, hidroalcolico (70%) e aquoso-ácido (49mL de água: 1mL de H₂SO₄). Posteriormente os extratos foram aquecidos até o ponto de fervura para então retirá-los da chapa aquecedora após três minutos. Após filtrar e transferir as alíquotas para tubos de ensaio já identificados, foram realizados os testes seguindo o roteiro.

Por conseguinte, foram realizados ensaios fitoquímicos para as seguintes classes químicas: Esteroides e Triterpenos; Saponinas; Taninos; Flavonoides; Antocianinas; Antraquinonas; Amida; Alcaloides; Açúcares redutores; Heterosídeos digitálicos e Cumarinas. Para esta última classe, utilizou-se papel de seda previamente cortado em formato quadrado, onde foram feitas manchas, tais quais spots de uma cromatografia em camada delgada, sendo uma para o extrato a ser testado e a outra para o padrão de cumarina. Logo após, o papel foi disposto numa placa de petri com hidróxido de potássio 10% e, então, foi revelado na radiação UV.

Utilizou-se uma escala de intensidade quanto à coloração específica e à turbidez, variando em até cinco cruces, conforme laudo técnico fitoquímico. Assim, caso o teste seja positivo, este pode variar entre "vestígios"; "fracamente positivo"; "moderadamente positivo"; "fortemente positivo"; "demasiadamente positivo", em crescente de cruces.

Considerando a triplicata, utilizou-se os termos para identificação das alíquotas: "Polpa fresca - 1"; "Polpa fresca - 2"; "Polpa fresca - 3"; "Polpa obtida - 1"; "Polpa obtida - 2"; "Polpa obtida - 3".

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do procedimento prévio realizado com a polpa, obteve-se a amostra da polpa obtida a fim de ser avaliada (imagem 2), a qual apresenta aroma tipo adocicado, cor amarronzada e aspecto mais firme que a polpa fresca.



Imagem 2 - Amostras da Polpa Obtida [PO] e Polpa Fresca [PF] do Noni

Segue abaixo as tabelas com resultados da prospecção fitoquímica de cada polpa, utilizou-se as iniciais dos termos (Polpa fresca = PF; polpa obtida = PO) acompanhadas de hífen e a numeração da alíquota.

Tabela 1 – Resultados da polpa fresca

Classe química	PF-1	PF-2	PF-3	RESULTADO
Esteróides e triterpenos	-	-	-	-

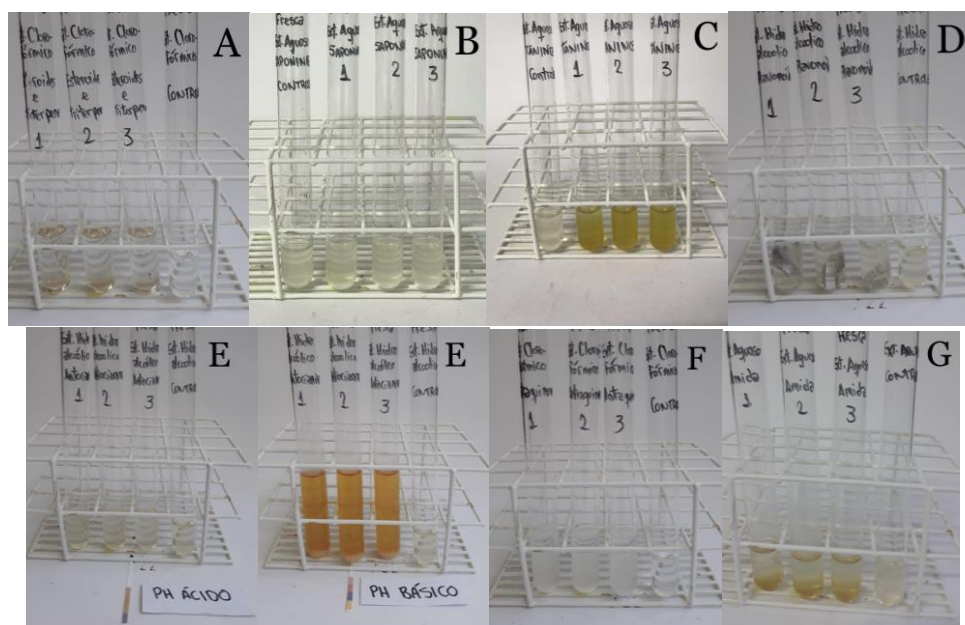
Saponinas	-	-	-	-
Taninos	-	-	-	-
Flavonoides	-	-	-	-
Antocianinas	-	-	-	-
Cumarinas	++++	+++	+++	+++
Antraquinonas	-	-	-	-
Amida	-	-	-	-
Alcalóides (Dragendorff)	++++	+++	+++	+++
Alcalóides (Bertrand)	+++	++++	+++	+++
Alcalóides (Hager)	+	+	+	+
Alcalóides (Mayer)	++	+	+	+
Alcalóides (Bouchadart)	++	+	+	+
Alcalóides (Sonnenschein)	+++	+++	++	+++
Açúcares redutores	+	++	++	++
Heterosídeos digitálicos	++++	+++	+++	+++

Tabela 2 – Resultados da polpa obtida

Classe química	PO-1	PO-2	PO-3	RESULTADO
Esteróides e triterpenos	-	-	-	-
Saponinas	-	-	-	-
Taninos	-	-	-	-
Flavonoides	-	-	-	-
Antocianinas	-	-	-	-
Cumarinas	++++	+++++	++++	++++
Antraquinonas	-	-	-	-
Amida	-	-	-	-
Alcalóides (Dragendorff)	++++	+++	++++	++++
Alcalóides (Bertrand)	+++	++++	+++	+++
Alcalóides (Hager)	+	+	-	+
Alcalóides (Mayer)	++	+++	+	++
Alcalóides (Bouchadart)	++	++	+++	++

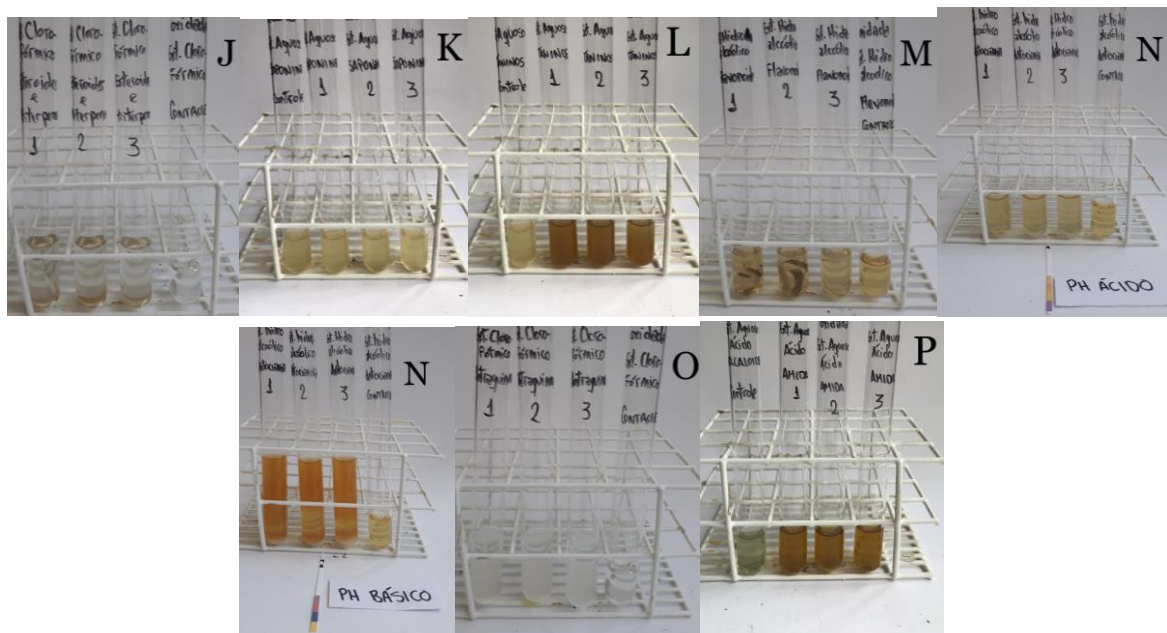
Alcalóides (Sonnenschein)	+++	++++	++	+++
Açúcares redutores	+++	++++	++++	++++
Heterosídeos digitálicos	++++	+++	+++	+++

De modo geral, os ensaios fitoquímicos indicaram ausência das classes químicas: esteroides e triterpenos; saponinas; taninos; flavonoides; antocianinas; antraquinonas e amida (imagem 3 e 4). Em relação às antraquinonas torna-se um resultado benéfico visando o uso pela população enquanto fitoterápico artesanal, pois esta classe pode estar relacionada à hepatotoxicidade pelo uso exacerbado, assim como casos de hipercalemia em pacientes com doenças renais (7). Nesse âmbito, é válido a caracterização do fruto e o estudo posterior dos fatores edáficos e climáticos que possam alterar o potencial fitoterápico desta planta a ser usada.



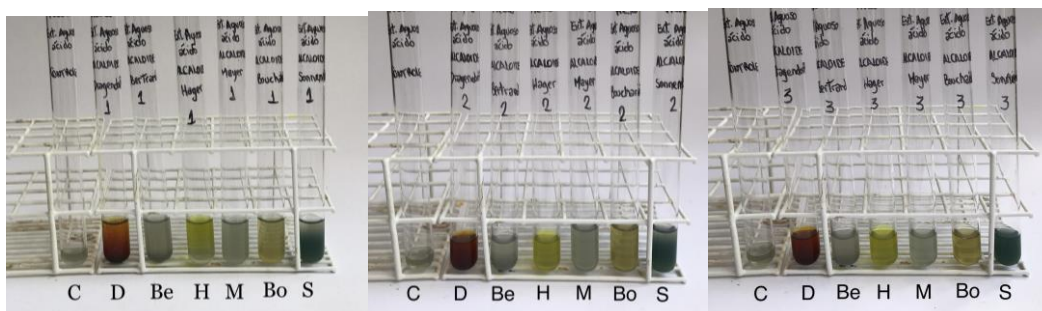
Legenda: Esteroides e Triterpenos [A]; Saponinas [B]; Taninos [C]; Flavonoides [D]; e Antocianinas [E]; Antraquinonas [F]; Amida [G].

Imagem 3 - Testes Fitoquímicos da Polpa Fresca com resultados negativos



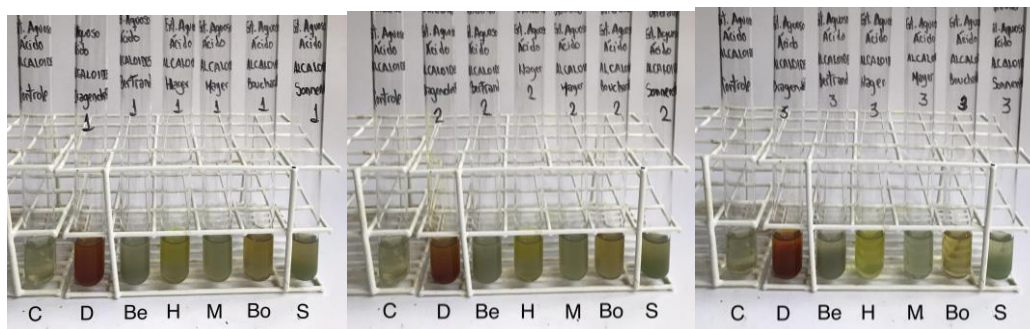
Legenda: Esteroides e Triterpenos [J]; Saponinas [K]; Taninos [L]; Flavonoides [M]; Antocianinas [N]; Antraquinonas [O]; Amida [P].

Imagem 4 - Testes Fitoquímicos da Polpa Obtida com resultados negativos



Legenda: Controle [C]; Dragendorff [D]; Bertrand [Be]; Hager [H]; Mayer [M]; Bouchadart [Bo]; Sonnenchein [S].

Imagem 5 - Teste Fitoquímico da Polpa Fresca para Alcaloides



Legenda: Controle [C]; Dragendorff [D]; Bertrand [Be]; Hager [H]; Mayer [M]; Bouchadart [Bo]; Sonnenchein [S].

Imagem 6 - Teste Fitoquímico da Polpa Obtida para Alcaloides

Nesse âmbito, a PF apresentou presença de alcaloides (imagem 5), variando de intensidade com cada reagente utilizado, seguindo a crescente: uma cruz para Hager, Mayer e Bouchardat e três cruzes para Sonnenshein, Dragendorff e Bertrand. Contudo, houve tendência do Hager para apenas uma cruz, assim como o Sonnenshein para duas cruzes e Dragendorff e Bertrand para quatro cruzes. Tais reagentes indicam a provável presença de alcaloides, posto que também podem determinar outros compostos como cumarinas ou proteínas (7). Quanto aos alcaloides da PO (imagem 6), houve intensidade sutilmente mais elevada. Particularmente, houve acréscimo de uma cruz com os reagentes Dragendorff, Mayer e Bouchardat.

Isso é relevante pois há estudos evidenciando a toxicidade crônica do noni, posto que comprovou-se que a ingestão de doses elevadas do extrato aquoso (2 mg/ml) causou danos ao fígado de camundongos, ainda que doses menos concentradas não tenham apresentado essa toxicidade (8). Nesse trabalho mencionado foi associado esta atividade às antraquinonas, contudo, os alcalóides são substâncias que atuam na defesa química das espécies vegetais por conseguirem modular a atividade de várias moléculas. Assim, já que interagem com alvos diferentes, podem desencadear efeitos tóxicos específicos dado seu potencial citotóxico (7), o que torna cabível o interesse na identificação desta classe.

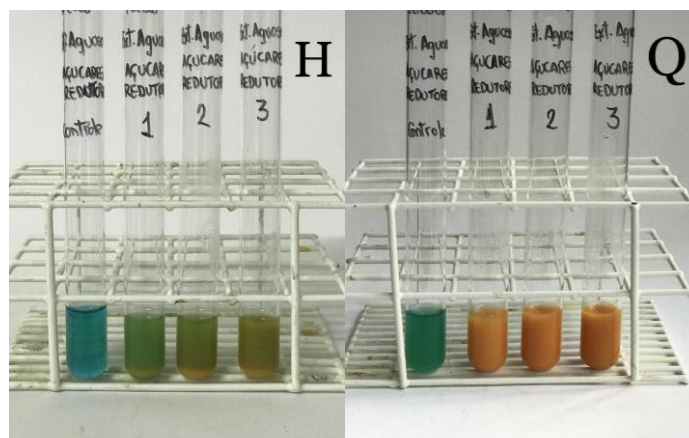


Imagem 7 - Teste Fitoquímico para Açúcares redutores da Polpa Fresca [H] e da Polpa Obtida [Q]

Outro teste que positivou foi o dos açúcares redutores (imagem 7), com apenas duas cruzes, sugerindo a presença fraca destes no extrato da Polpa Fresca, posto que formou precipitado alaranjado como corpo de fundo discreto, de modo que ainda foi possível ver o tom azulado original do reagente de Benedict. Enquanto que, na Polpa Obtida, resultou na formação completa de precipitado alaranjado no tubo de ensaio para açúcares redutores, permitindo visualizar o quanto de agente oxidante foi reduzido pelo açúcar (6).

Assim, isso revela um potencial anti-radicalar importante dado seu poder redutor, o que condiz com resultados experimentais quanto à atividade antioxidante do suco de fruta do noni ser dependente da dose e ser 2,8 vezes mais ativa que a do ácido ascórbico (10). Dessa forma, como a PO é composta por resíduos de filtrações consecutivas do fruto, há evidências, portanto, para que tenha ação igual ou superior a do estudo, caso seja submetida à avaliação por método DPPH (2,2-difenil-picrilhidrazil).

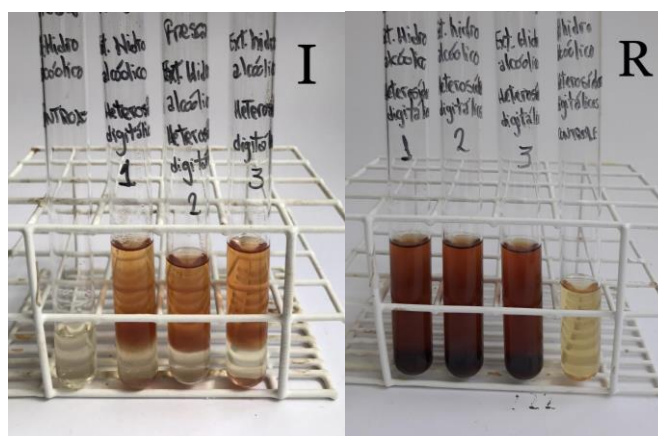


Imagem 8 - Teste Fitoquímico para Heterosídeos digitálicos da Polpa Fresca [I] e da Polpa Obtida [R]

Acrescenta-se, ainda, a presença de heterosídeos digitálicos (imagem 8), representados com duas cruzes no extrato da Polpa Fresca, sendo um resultado relativamente fraco. Ressalta-se, porém, a leve tendência a três cruzes diferente da classe anteriormente citada, a qual mostrou tendência a uma cruz. Além disso, em comparação, na Polpa Obtida, houve consideravelmente maior intensidade nos testes para açúcares redutores e heterosídeos digitálicos, ambos aumentando duas cruzes. Destaca-se que, também, em contraste com o extrato da polpa fresca, o da polpa obtida a mudança de cor foi intensa de modo que diminuiu o caráter translúcido, assumindo um tom castanho-rubro em todo tubo de ensaio.

A reação realizada foi a de Kedde que consiste numa reação colorimétrica com ácido 2,3-dinitrobenzoico que reage com o anel lactônico pentagonal, caracterizando-o num tom avermelhado (7). Os heterosídeos digitálicos não são comumente encontrados nas espécies vegetais, de modo que é imprescindível que o extrato de origem seja concentrado (7), nesse sentido, a Polpa Obtida é mais concentrada que a Polpa Fresca, sendo então um possível insumo para trabalhos de caracterização e estudos de farmacologia cardíaca.

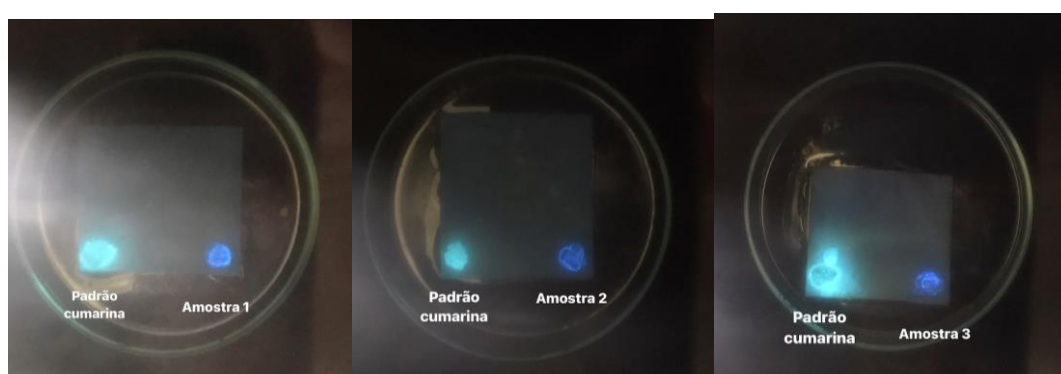


Imagem 9 - Teste Fitoquímico da Polpa Fresca para Cumarinas

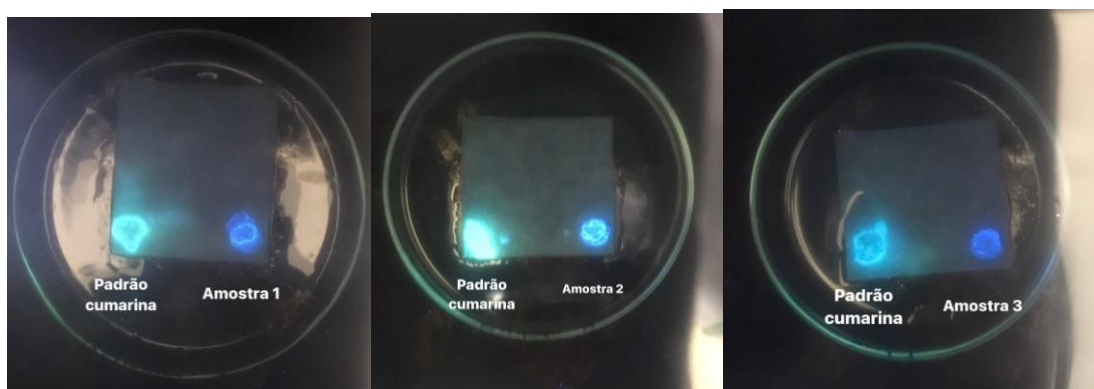


Imagem 10 - Teste Fitoquímico da Polpa Obtida para Cumarinas

Diferentemente do esperado, ao serem expostos à radiação UV, ambos extratos apresentaram banda de cor azul, destoando do verde proveniente da banda do padrão, Cumarina. Deste modo, é necessário testar com outros padrões cumarínicos, mas, de todo modo, configura como resultado positivo para esta classe química pela presença de fluorescência (6). No primeiro relatório de estudo sobre a contribuição de derivados de cumarina no efeito de eliminação de espécies reativas de oxigênio (ROS), a escopoletina apresentou taxa de contribuição considerável, o que permite seu uso como padrão de qualidade da *Morinda citrifolia* (10). Sob esse viés, é possível pesquisar e delimitar os compostos cumarínicos da Polpa Obtida visando a busca pela escopoletina.

Ressalta-se, sobretudo, a maior intensidade da banda proveniente da polpa obtida (imagem 10) em relação à polpa fresca (imagem 9), o que corrobora a intenção de uso terapêutico, tanto como fitoterápico em si, quanto Insumo Farmacêutico Ativo Vegetal (IFAV), posto que apresenta também atividade antirradicalar dada a recente descoberta relação desta ação com o fenol total (10).

CONCLUSÕES

Em síntese, notou-se que o processo de prensagem a qual a polpa foi submetida contribui para que esta apresentasse em seus resíduos maior intensidade das classes químicas: alcaloides, cumarinas, açúcares redutores e heterosídeos digitálicos. Infere-se, portanto, que o processo foi benéfico para obtenção de maior potencial fitoterápico do fruto como um todo, posto que a polpa obtida do resíduo da prensagem pode ser utilizada para fins terapêuticos. Também, destaca-se a promoção da sustentabilidade ao considerar o reaproveitamento do subproduto residual do suco do noni. Além disso, reitera-se a necessidade de continuidade nos estudos fitoquímicos, realizando avaliação comparativa com outras partes da planta como a folha e o suco proveniente do fruto.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Liga Acadêmica de Fitoterapia da Universidade Federal do Ceará (Lafito-UFC) e ao Laboratório de Produtos Naturais (LPN) do Horto de Plantas

Medicinais FJA Matos da Universidade Federal do Ceará pelo incentivo, apoio e cooperação.

REFERÊNCIAS

1. Sousa J A, Brito E S, Souza Filho M S M, Aquino A R L, Silva Neto P A F. Noni (*Morinda citrifolia* L.). Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009.
2. Horto Didático de Plantas Medicinais do HU/CCS. Ufsc.br. Noni [Internet]. 2023 [27/12/2023]. Disponível em: <https://hortodidatico.ufsc.br/noni/>
3. Chan-Blanco Y, Vaillant F, Perez A M, Reynes M, Brillouet J, Brat P. The noni fruit (*Morinda citrifolia* L.): A review of agricultural research, nutritional and therapeutic properties. JFCA. 2006; 19: 645–654.
4. Yang J, Paulino R, Janke-Stedronsky S, Abawi F. Free-radical-scavenging activity and total phenols of noni (*Morinda citrifolia* L.) juice and powder in processing and storage. Food Chem. 2007; 102: 302–308.
5. Gruz AP, Sousa CG, Torres AG, Freitas SP, Cabral LM. Recuperação de compostos bioativos a partir do bagaço de uva. Revista Brasileira de Fruticultura [Internet]. Dez 2013;35(4):1147-57. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-29452013000400026>
6. Matos F J A. Introdução à fitoquímica experimental. Fortaleza: UFC, 2009.
7. Simões C M O, Schenkel E P, Mello J C P, Mentz L A, Petrovick P R. Farmacognosia: do produto natural ao medicamento. Porto Alegre: Artmed, 2017.
8. Mohamad Shalan NA, Mustapha NM, Mohamed S. Chronic toxicity evaluation of *Morinda citrifolia* fruit and leaf in mice. Regulatory Toxicology and Pharmacology [Internet]. Fev 2017;83:46-53. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2016.11.022>
9. Sina H, Dramane G, Tchekounou P, Assogba MF, Chabi-Sika K, Boya B, Socohou A, Adjanohoun A, Baba-Moussa L. Phytochemical composition and in vitro biological activities of *Morinda citrifolia* fruit juice. Saudi Journal of Biological Sciences [Internet]. Nov 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.11.059>
10. Ikeda R, Wada M, Nishigaki T, Nakashima K. Quantification of coumarin derivatives in Noni (*Morinda citrifolia*) and their contribution of quenching effect on reactive oxygen species. Food Chemistry [Internet]. Abr 2009;113(4):1169-72. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.067>

Capítulo 35

Doi.org/10.53934/9786599965814-35

PROPRIEDADES FÍSICAS DE PAINÉIS OSB (*ORIENTED STRAND BOARD*) DE BAMBÚ

Bárbara Maria Ribeiro Guimarães *; Felipe Augusto Nascimento Alves ; Josy Anteveli Osajima Furtini ; José Benedito Guimarães Junior ; Ramon Raudel Peña Garcia ; Marcelo Barbosa Furtini  Francisco Murilo Tavares de Luna 

*Bárbara Maria Ribeiro Guimarães (Corresponding author) – bmrq2115@yahoo.com.br

Resumo: Compósitos que utilizam fibras naturais como reforço têm despertado grande interesse na comunidade industrial e científica devido à necessidade de materiais que apresentem responsabilidade ambiental e sejam economicamente viáveis. Desta forma o presente trabalho teve como objetivo avaliar a produção de painéis OSB (*Oriented strand board*) utilizando como matéria prima o Bambu afim de alcançar propriedades similares ou melhores daqueles painéis produzidos a partir de madeira. Para tanto o bambu foi cortado, seccionado e transformado em partícula “*strand*”. Para encolar as partículas de bambu utilizou a resina fenol-formaldeído (FF), em quantidade de 6% de sólidos em relação ao peso seco das partículas. Os painéis foram prensados à pressão específica de 40 kgf/cm², temperatura de 180°C e tempo de 8 minutos. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,70 g/cm³. Os painéis apresentaram umidade de 5,30% e densidade aparente de 0,66g/cm³, sendo classificado como painéis de média densidade. Os painéis apresentaram absorção de água (AA24h) e inchamento em espessura (IE 24h) após 24 horas de 71,38% e 30,70%. Ficando acima das normativas para essas propriedades. Deste modo, outros parâmetros de produção de painéis utilizando bambu, tais como: variação na densidade, teor de adesivo, além de tratamento nas fibras, deve ser investigados a fim de verificar se a utilização do bambu na produção de painéis OSB é vantajosa.

Palavras-chave: bambu; caracterização, painel.

Abstract: Composites that use natural fibers as reinforcement have aroused great interest in the industrial and scientific community due to the need for materials that are environmentally responsible and economically viable. In this way, the present work had as objective to evaluate the production of OSB panels (*Oriented strand board*) using Bamboo as raw material in order to achieve similar or better properties of those panels produced from wood. For this purpose, the bamboo was cut, sectioned and transformed into a “*strand*” particle. To glue the bamboo particles, phenol-formaldehyde resin (PF) was used, in an amount of 6% of solids in relation to the dry weight of the particles. The panels were pressed at a specific pressure of 40 kgf/cm², temperature of 180°C and time of 8 minutes. The panels were produced with a nominal density of 0.70 g/cm³. The panels had a humidity of 5.30% and an apparent density of 0.66g/cm³, being classified as medium density panels. The panels showed water absorption (AA24h) and thickness swelling (IE 24h) after 24 hours of 71.38% and 30.70%. Staying above the regulations for these properties. Thus, other parameters for the production of panels using bamboo, such as: variation in density, adhesive content, in

addition to fiber treatment, should be investigated in order to verify whether the use of bamboo in the production of OSB panels is advantageous.

Key Word: bamboo; characterization; panel.

INTRODUÇÃO

Recentemente, as aplicações de painéis à base de madeira se expandiram e se tornaram cada vez mais competitivos, especialmente nas indústrias do setor de móveis e da construção civil (1).

Segundo Iwakiri et al. (2), na produção destes painéis pode-se utilizar misturas de espécies de madeira na composição, além da possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais ou madeireiros. Sendo uma forma de aperfeiçoar suas características além de diminuir desperdícios.

Dentre essas novas alternativas de matéria prima para a produção de painéis têm-se o bambu. Quando comparado à madeira, o bambu apresenta uma rápida taxa de crescimento, com ciclo curto, abundante sendo uma espécie adaptável à maioria dos tipos de solo, apresentando resistência à tração próxima a madeira, e devido a essa característica o bambu vem sendo bastante explorado na indústria da construção civil, móveis, equipamentos domésticos e artesanato (3).

Em busca de novas alternativas em substituição a madeira o objetivo deste estudo foi produzir e avaliar painéis OSB (*Oriented strand board*) a partir do bambu.

MATERIAL E MÉTODOS

Obtenção da matéria prima

Foi utilizada como matéria-prima fibras de bambu imperial (*Bambusa vulgaris vittata*). Esse material foi coletado na Universidade Federal de Lavras na cidade de Lavras/MG. Onde foi cortado, posteriormente seccionado visando a manufatura de painéis OSB. Essa etapa é descrita na figura 1(a/b).



Figura 1 a- Corte dos bambus; b- Seccionamento dos colmos de bambu para posterior produção dos painéis.

Produção e caracterização dos painéis

Antes da etapa da retirada dos corpos de prova de bambu, esse material ficou disposto em posição vertical por um período de 15 dias, para retirada do amido presente em sua estrutura. Posteriormente, esse material foi seccionado em peças de 85 mm de largura, aos quais definiram o comprimento das partículas do tipo “*strand*” produzidas. Logo após essa etapa, esses corpos de prova foram deixados em água fria por 2 dias para seu amolecimento e facilitar o seu corte.

As partículas foram geradas utilizando um picador de disco, cujas facas foram ajustadas para gerarem partículas com espessuras em torno de 0,60 mm obtendo-se assim partículas “*strand*” com as dimensões de 25 x 85 x 0,60 mm (largura x comprimento x espessura, respectivamente). A figura 2 descreve a etapa de geração das partículas “*strand*” dos painéis.



Figura 2 Etapas de transformação do bambu em partícula

Em seguida, essas partículas foram secas até o conteúdo de umidade de 3-4%, base massa seca, utilizando uma estufa de laboratório, com circulação forçada de ar (Figura 3) e em seguida passadas em uma peneira vibratória com abertura de 24 x 24 mm para a realização da retirada dos rejeitos finos. O adesivo (Fenol-formaldeído) foi aplicado por meio de aspersão, em uma encoladeira do tipo tambor giratório em quantidade de 6% de sólidos em relação ao peso seco das partículas.



Figura 3 Secagem das partículas de bambu em estufa

Para cada tratamento foram produzidos três painéis com densidade nominal de $0,70 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Depois de impregnadas, as partículas foram distribuídas em uma caixa formadora de colchão, apresentando dimensões de 48 cm x 48 cm, para a realização da orientação das partículas e formação das camadas dos painéis na proporção face: miolo: face de 25: 50: 25. Em seguida, o colchão formado passou por uma pré-prensagem realizada em uma prensa manual, e em sequência esse colchão formado foi levado a uma prensagem a quente 8 minutos a temperatura de 180°C e pressão de 4 MPa.

As dimensões dos corpos de prova e os procedimentos de ensaio empregados na avaliação das propriedades absorção de água (AA) inchamento em espessura (IE) após vinte e quatro horas de imersão, foram realizados com base na “American Society for Testing and Materials” – ASTM D1037 (4).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os painéis apresentaram densidade aparente média de $0,66 \text{ g}/\text{cm}^3$ e de acordo com a ANSI A208.1-1999 (5), o valor especificado para painéis de partículas de média densidade é de 0,64 a $0,8 \text{ g}/\text{cm}^3$. Portanto, para essas normas, os painéis se encaixam como de média densidade.

Em todos os tratamentos foi observado que a densidade aparente foi inferior a densidade nominal ($0,70 \text{ g}/\text{cm}^3$). Provavelmente, esse fato pode ser explicado devido as perdas de material durante o processo de produção dos painéis em laboratório, principalmente, nas etapas de aplicação do adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis (6)

Os resultados para os valores obtidos na determinação de absorção de água e inchamento em espessura durante 24h juntamente com as média e desvios padrões e coeficiente de variação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 5 – Caracterização física dos painéis de bambu

Variáveis	Umidade (%)	AA 24horas (%)	IE 24HORAS (%)
Média	5,30 ^(0,01)	71,38 ^(5,99)	30,70 ^(1,19)
CV (%)	0,28	8,40	3,88

*Entre parêntese desvio padrão.

AA 24horas (absorção de água após 24 de imersão); IE 24horas (inchamento em espessura após 24 horas de imersão).

Os painéis apresentaram umidade média de 5,30%. A norma NBR 14.810 (7) estabelece valores de teor de umidade entre 5% e 11%. Desta forma os painéis avaliados ficaram dentro dos requisitos estipulados por essa norma.

Foi observado valores de absorção e inchamento em espessura após 24 horas de imersão de 71,38% e 30,70%, respectivamente.

Barbirato et al. (8), produziram painéis OSB de bambu (*Dendrocalamus asper*) de média densidade (650 kg/m³) utilizando (8%) resina, observaram valores de 49,07% absorção de água e 20,43% inchamentos em espessura após 24 horas de imersão.

A redução de absorção de água em painéis de OSB destinados para fins estruturais é altamente desejada. Se há menor absorção de água no painel, conseqüente a degradação das ligações amino-metilênicas do polímero que ocorrem devido a presença de água, ocorrerão em menor quantidade também. Isto confere melhor qualidade do painel para possível utilização em ambientes externos ou úmidos, por exemplo.

A norma europeia de comercialização EN 300 (9) estipula 25% como valor máximo de inchamento em espessura após 24 h de imersão em água, para painéis OSB do tipo 1, utilizados em ambiente sem contato com a umidade. Assim, nenhum dos painéis produzidos atenderam ao mínimo exigido pela Norma.

Quando comparado a CSA 0437-0 (10) que estabelece valor máximo de 10% para inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água, nenhum dos painéis atenderam os valores máximos estipulados pela norma.

Já a NBR 14.810-2 (7) apresenta o valor até 18% para o inchamento em espessura durante 24h para um painel de uso não estrutural em ambientes secos. Não se enquadrando também a essa norma.

Desta forma, novos estudos devem ser realizados em termos de variação na densidade, teor de adesivo e tratamento nas fibras, a fim de verificar se os painéis produzidos a partir de bambu se adequam as normativas de comercialização.

CONCLUSÕES

Os painéis apresentaram densidade aparente média de 0,66g/cm³ sendo classificados como painéis de média densidade e umidade média de 5,30%, ficando dentro do intervalo estipulado pela norma NBR 14.810 (7)

Em relação a absorção de água e inchamento em espessura após 24 horas de imersão, os painéis produzidos não atenderam a nenhuma norma para avaliação desta propriedade.

Novos parâmetros de produção de painéis devem ser investigados tais como: variação na densidade, teor de adesivo, além da avaliação de diferentes tratamentos nas fibras a fim de verificar se a utilização do bambu na produção de painéis OSB é vantajosa em comparação a madeira.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Fundação Cearense de Amparo ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal do Ceará. Este trabalho foi financiado pelo FUNCAP/CNPq sob Concessão (processo n° DCT-0182-00141.01.00/21 e 05803349/2022, edital FUNCAP/CNPq N° 03/2021).

Agradecemos também a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI).

REFERÊNCIAS

1. Hansted FAS. Hansted, A LS, Padilha ERD, Caraschi JC, Goveia, D, Inácio de Campos C. The use of nanocellulose in the production of médium density particleboard panels and the modification of its physical properties, *BioResources*. 2019; 14: 5071-5079.
2. Iwakiri S, Trianoski R, Chies D, Tavares EL, França MC, Lau PC, Iwakir VT. Utilização de resíduos de exploração florestal de *Pinus taeda* para produção de painéis aglomerados. *Revista Árvore*. 2017; 41:1-8, 2017.
3. Maulana S, Busyra, I, Fatrawana A, Hidayat W, Sari RK, Sumardi I, Wistara IN J, Lee SH, Kim NH, Febrianto F. Effects of Steam Treatment on Physical and Mechanical Properties of Bamboo Oriented Strand Board. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*. 2017; 45; 6, 872-882.
4. American Society for Testing AND Materials (ASTM). ASTM D-1037: Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philadelphia: Annual Book of ASTM Standard. v.04.09. 2006.
5. American National Standard. ANSI A208.1-1999: Particleboard. Estados Unidos, 1999.

6. Soares SS, Guimarães Jr JB, Mendes LM, Mendes RF, Protásio TP, Lisboa FJN. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. *Revista Ciência da Madeira*. 2017; 8: 64–73.
7. ABNT – NBR 14.810-2. Chapas de madeira aglomerada. Parte 2: Requisitos. Rio de Janeiro, 2006.
8. Barbirato GHA, Wanley CG, Martins R, Fiorelli J. Optimization of castor oil polyurethane resin content of OSB panel made of *Dendrocalamus asper* bamboo. *Ciência Florestal Santa Maria*. 2022; 32; 1, 187-205.
9. European Committee for Standardization. EN 300: Oriented Strand Boards (OSB) - definitions, classification and specifications. Bruxelas: 2006.
10. Canadian Standards Association. OSB and waferboard. CSA 0437-0:1993: 118.

Capítulo 36

Doi.org/10.53934/9786599965814-36

INCORPORAÇÃO DE ANTOCIANINAS EM EMBALAGENS INTELIGENTES: UMA REVISÃO DO POTENCIAL AGENTE INDICADOR DE pH PARA DETECTAR O FRESCOR DO LEITE

Ana Flávia Coelho Pacheco *; Wilson de Almeida Orlando Junior ; Kely de Paula Correa ; Tatiane Teixeira Tavares ; Flaviana Coelho Pacheco ;
Jeferson Silva Cunha ; Paulo Henrique Costa Paiva 

*Autor correspondente – Email: ana.pacheco@epamig.br

Prof. Dra. Ana Flávia Coelho Pacheco, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. Dra. Kely de Paula Correa, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. Dr. Wilson de Almeida Orlando Junior, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Dra. Tatiane Teixeira Tavares, Bolsista de pesquisa nível I do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Flaviana Coelho Pacheco, Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos UFV e Membro do Laboratório de Inovação no Processamento de Alimentos – LIPA/DTA/UFV.

Jeferson Silva Cunha, Mestrando em Ciência e Tecnologia de Alimentos UFV e Membro do Laboratório de Inovação no Processamento de Alimentos – LIPA/DTA/UFV.

Prof. Dr. Paulo Henrique Costa Paiva, Professor/pesquisador do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Resumo: Os consumidores estão mais conscientes sobre o que comem e como os alimentos são embalados. A qualidade dos alimentos é de suma importância e os consumidores desejam estar constantemente atualizados sobre a perecibilidade e o prazo de validade dos produtos alimentícios que compram. O leite é um alimento altamente perecível, mesmo quando pasteurizado, apresentando uma curta vida de prateleira. Neste contexto, materiais e dispositivos de embalagens inteligentes que podem indicar as reais condições do produto aos consumidores durante a vida de prateleira do alimento têm sido desenvolvidos. As embalagens com indicadores de pH mudam de cor em diferentes faixas de pH e essas mudanças são visíveis aos olhos dos consumidores. As antocianinas são corantes naturais solúveis em água, têm ganhado cada vez mais atenção devido às suas características atraentes, como diversas cores em pHs variados, biocompatibilidade e potenciais propriedades promotoras da saúde. Essas características multifuncionais oferecem oportunidades atraentes para suas novas aplicações nas indústrias de embalagens de alimentos. O uso de filmes de embalagens inteligentes sensíveis ao pH à base de antocianina pode não apenas prolongar efetivamente a vida útil, mas também monitorar o frescor do leite e outros alimentos. Esta revisão fornece informações sobre os filmes de embalagens inteligentes sensíveis ao pH à base de antocianina que são aplicados para monitorar o frescor do leite.

Palavras-chave: Biopolímeros; Compostos naturais; Mudança de cor; Sensibilidade.

Abstract: Consumers are more conscious about what they eat and how food is packaged. Food quality is of paramount importance and consumers want to be constantly updated on the perishability and shelf life of the food products they buy. Milk is a highly perishable food, even when pasteurized, with a short shelf life. In this context, intelligent packaging materials and devices that can indicate the real conditions of the product to consumers during the shelf life of the food have been developed. Packages with pH indicators change color in different pH ranges and these changes are visible to the eyes of consumers. Anthocyanins, water-soluble natural dyes, have gained increasing attention due to their attractive characteristics, such as diverse colors at varying pHs, biocompatibility and potential health-promoting properties. These multifunctional features offer attractive opportunities for their new applications in the food packaging industries. The use of anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films can not only effectively extend the shelf life, but also monitor the freshness of milk and other foods. This review provides information on anthocyanin-based pH-sensitive smart packaging films that are applied to monitor milk freshness.

Key words: Biopolymers; Natural compounds; Color change; Sensitivity.

INTRODUÇÃO

O leite é um alimento altamente perecível, sendo um meio apropriado para o desenvolvimento de diferentes microrganismos deterioradores devido ao seu elevado valor nutricional. É altamente essencial explorar métodos rápidos para detecção em tempo real de deterioração em produtos alimentícios com prazo de validade limitado, como o leite (1).

Atualmente, filmes de embalagens inteligentes baseados em indicadores sensíveis ao pH são capazes de monitorar o frescor e a deterioração do leite, o que têm sido amplamente desenvolvidos. Um indicador é uma substância que exhibe a presença ou ausência de outra substância ou o grau de reação entre dois ou mais compostos por meio de mudanças em suas características, incluindo variação de cor (2). Assim, os indicadores são materiais que fornecem informações em tempo real sobre a qualidade dos alimentos, sendo influenciados por atividades microbianas e reações químicas. A reação entre os metabólitos resultantes do crescimento de microrganismos e os indicadores altera a cor deste último, auxiliando o consumidor a obter informação visual sobre o frescor do produto (3).

O leite fresco de vaca é levemente ácido, com pH de aproximadamente 6,7. A decomposição do leite leva à alterações no pH do meio, comprometendo sua estabilidade. O crescimento microbiano com consequente produção de ácido láctico causa a redução do pH, contribuindo para a deterioração do leite e de derivados lácteos (2, 3). Assim, alterações no leite, expressas em acidez titulável e pH, são dois índices principais que podem ser usados para avaliar o frescor do leite.

Os indicadores de pH são aqueles cuja cor de suas soluções muda sob diferentes valores de pH. Esses compostos são chamados de indicadores ácido-base. As

antocianinas têm propriedades de mudança de cor em uma ampla faixa de pH, portanto podem ser empregadas como sensores naturais para detectar o frescor de diferentes alimentos como o leite (3). Além disso, as antocianinas são seguras, de disponibilidade abundante e proporcionam efeitos benéficos à saúde. Em particular, os filmes de embalagem inteligente com indicador de cor à base de polímero biodegradável incorporados com antocianinas são úteis para monitorar o frescor dos alimentos (2; 4).

Neste contexto, a seguinte revisão de literatura tem como objetivo fornecer informações relevantes sobre os filmes de embalagens inteligentes sensíveis ao pH à base de antocianina que são aplicados para monitorar o frescor do leite.

METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão de literatura sobre a “Incorporação de antocianinas em embalagens inteligentes: uma revisão do potencial agente indicador de pH para detectar o frescor do leite”. As informações foram adquiridas a partir das seguintes bases de dados eletrônicas: Scopus e Science Direct. Os critérios adotados para a seleção dos artigos incluíram estudos publicados em inglês, predominando aqueles publicados nos últimos 5 anos.

ANTOCIANINAS E SUAS PROPRIEDADES

As antocianinas, que são pigmentos vegetais naturais pertencentes à família dos flavonoides, são responsáveis pelas cores laranja, vermelho, roxo e azul de muitos vegetais e frutas. As antocianinas podem ser extraídas de vegetais (ex: repolho roxo e cenoura roxa), frutas (por exemplo, uva e semente de romã) e flores (por exemplo, ervilha borboleta e rosa vermelha) (4).

Existem mais de 600 tipos diferentes de antocianinas na natureza. As seis antocianinas mais comuns encontradas em plantas são: cianidina (50%), delphinidina (12%), pelargonidina (12%), peonidina (12%), malvidina (7%) e petunidina (7%) (Figura 1) (4).

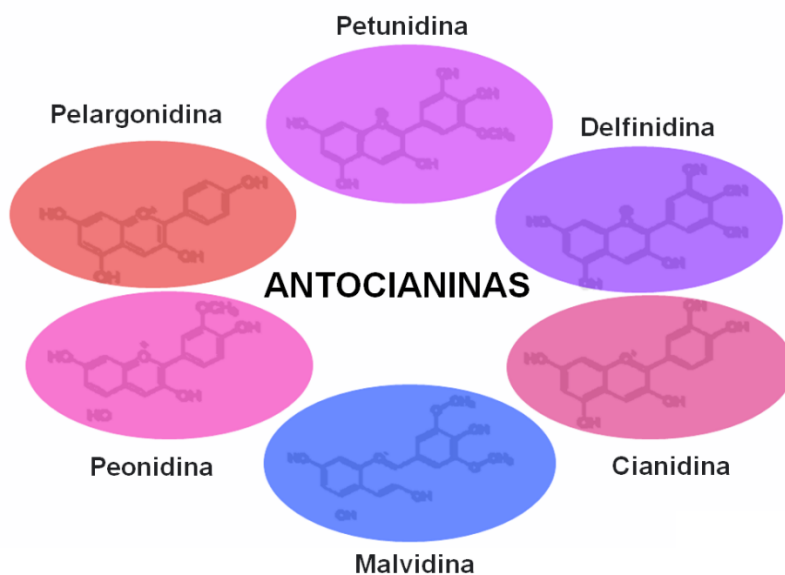


Figura 1 – As seis antocianinas mais comuns.

A cianidina é um pigmento roxo-avermelhado encontrado principalmente em bagas e vegetais de cor vermelha, como milho roxo e batata-doce (5). Delfinidina é um pigmento vermelho-azulado encontrado em plantas e, geralmente, a cor azul das flores é atribuída a esse pigmento (6). Pelargonidina é um pigmento de cor vermelho-alaranjado, encontrado principalmente em frutas vermelhas e flores de laranjeira (8). A peonidina é uma antocianidina metilada, exibe cor magenta em ervas como bagas e uvas (8). Malvidina é uma antocianidina metilada de cor púrpura, encontrada principalmente em uvas vermelhas e no vinho tinto (8). A petunidina é uma antocianidina metilada de cor vermelha escura solúvel em água (9), encontrada principalmente em pétalas roxas de flores e groselhas negras (10).

As antocianinas podem ser encontradas como diferentes estruturas químicas e cores, dependendo do pH da solução. Em geral, as antocianinas são avermelhadas em condições ácidas, rosas em condições neutras e azuis em condições básicas.

A mudança estrutural dependente do pH da antocianina é mostrada na Figura 2. As antocianinas exibem maior estabilidade em condições altamente ácidas devido à base de cátion flavílio, o que torna as antocianinas solúveis em soluções aquosas (9). Em pH baixo, as antocianinas existem como carbinol, pseudobase e estruturas quinonoidais, sendo então transformadas em estrutura de chalcona (11). Os monoglicosídeos e 3,5-diglicosídeos são geralmente glicosídeos presentes no pigmento antocianidina, enquanto os açúcares comumente encontrados são glicose, xilose, galactose, ramnose, arabinose e rutinose (Figura 5) (12). Além disso, a acilação de estruturas de antocianinas por ácidos alifáticos e cinâmicos aumenta a diversidade de antocianinas encontradas na natureza (12). Embora a petanina seja estável em pH alto (pode se manter a pH 8,0), a maioria das antocianinas começa a se decompor em pH alto (13).

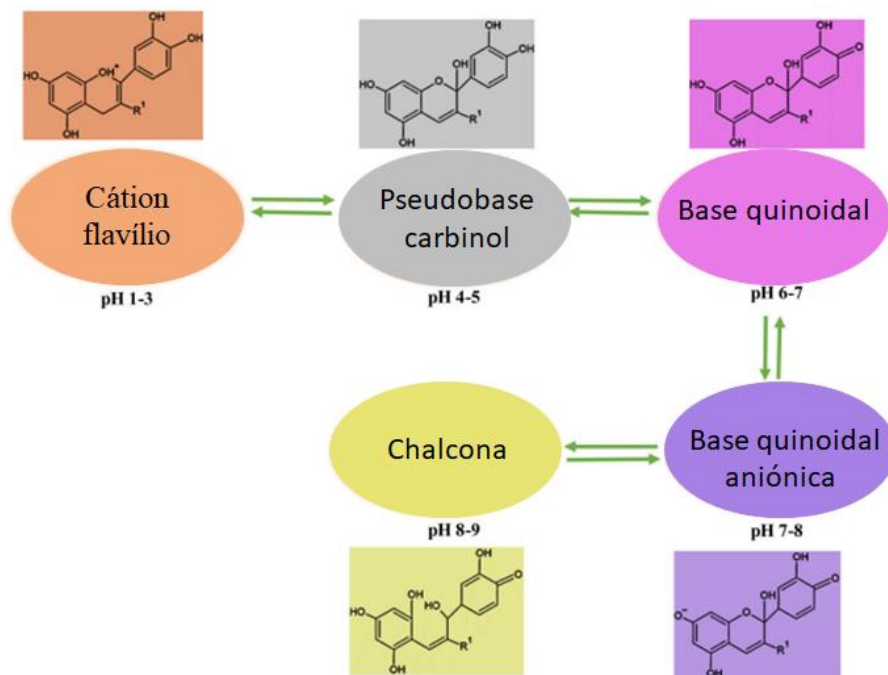


Figura 2 – Estruturas químicas da antocianina em diferentes valores de pH.

As várias cores que as antocianinas podem apresentar pode ser devido à características inerentes à sua estrutura ou do meio em que elas se encontram, como por exemplo, glicosilação ou acilação, pH e presença de copigmentos (12; 13).

Essa propriedade particular de mudança de cor das antocianinas tem sido a mais utilizada no desenvolvimento de filmes de embalagens inteligentes para monitorar o frescor/deterioração dos alimentos frescos e fornecer informações visuais aos consumidores.

USO DE ANTOCIANINAS NO DESENVOLVIMENTO DE FILMES DE EMBALAGENS INTELIGENTES

De acordo com a resolução RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002 (14), as embalagens podem ser definidas como qualquer forma de acondicionamento destinada a cobrir, proteger, empacotar, envasar e manter os produtos preservados até a sua distribuição.

Nos últimos anos, as indústrias de alimentos vêm sofrendo grandes mudanças para se adaptarem às novas exigências dos consumidores. As embalagens, além de conter e proteger os produtos, devem também manter a qualidade, o frescor, a segurança do produto embalado, monitorar e indicar as propriedades do alimento. Como forma de preencher todos estes requisitos, uma nova linha de embalagens vem sendo desenvolvida, que são as chamadas “embalagens inteligentes”. As embalagens inteligentes se diferenciam das embalagens convencionais por servir como um dispositivo de comunicação com os consumidores, compartilhando muitas informações sobre o produto interno por meio de sinais, palavras ou imagens (15).

Vários indicadores/dispositivos denominados indicadores de tempo-temperatura, indicadores de frescor e indicadores de gás geralmente formam uma parte importante de um sistema de embalagens inteligentes. Informações sobre a ausência, presença ou mesmo as concentrações de uma nova substância, ou ainda a extensão das reações entre duas ou mais substâncias, podem ser compreendidas por indicadores (16). Esses indicadores geralmente transmitem informações imediatas por meio de mudanças visuais de cores, dependendo do grau de deterioração do produto.

Em geral, ocorre uma mudança perceptível de pH quando o alimento começa a se deteriorar. Esse fato constitui a base científica para o uso das variações de pH para avaliar a qualidade dos produtos alimentícios (17). Os indicadores de pH colorimétricos são frequentemente usados como etiquetas ativas em embalagens inteligentes para sinalizar a mudança de pH por meio da mudança de cor (18).

As embalagens inteligentes desenvolvidas para detecção de frescor baseada em indicadores de pH seguem alguns conceitos como metabólitos microbianos, oxidação e crescimento microbiano. Entretanto, os valores de pH dos produtos alimentícios também podem variar dependendo de outros fatores, como consistência, sabor e desenvolvimento de reações químicas e enzimáticas que podem ser benéficas para a extensão da vida útil (19).

As embalagens inteligentes com indicadores de pH funcionam por meio de um rótulo de pH, que apresenta uma resposta de cor confiável ao ambiente da embalagem e pode ser usado como um indicador exato para monitorar em tempo real o grau de deterioração ou frescor de alimentos perecíveis, como frutos do mar (20). Com base nessa afirmação, uma mudança nos valores de pH geralmente resulta na mudança do frescor do alimento e na perda do prazo de validade.

Nesse contexto, essas embalagens inteligentes tornam-se uma tecnologia promissora e inovadora que pode informar os consumidores sobre o frescor dos produtos alimentícios ao longo de seu ciclo de vida (19). Atualmente, vários indicadores de frescor são comumente usados para desenvolver embalagens inteligentes dos quais tem-se corantes conservantes artificiais como cresol e vermelho de metila, roxo e verde de bromocresol, azul de bromotimol, clorofenol e xilenol (21). No entanto, esses corantes artificiais apresentam potencial toxicidade e falta de conformidade com a segurança dos alimentos, sendo uma motivação para a mudança do foco das pesquisas de corantes sintéticos para corantes naturais, devido à expansão de suas aplicações nas indústrias alimentícias e promoção de maior saudabilidade.

Essas motivações tem levado a um número crescente de atividades de pesquisa em comunidades industriais e científicas para usar a alta capacidade de indicadores de corantes naturais em uma gama de aplicações em embalagens (22). Os corantes naturais derivados de plantas oferecem inúmeras propriedades únicas, como biocompatibilidade, renovabilidade, não toxicidade e facilidade de implementação, o que levou as indústrias de embalagens a usá-los como substitutos de corantes artificiais (23, 24). O uso de corantes naturais que podem ser descartados com segurança em ambientes naturais oferece uma alternativa atraente para resolver ou minimizar os problemas ambientais (25).

Diversos filmes de embalagem ricos em antocianinas demonstraram grande potencial para preservar os valores nutricionais, prolongar a vida de prateleira e manter a qualidade de inúmeros produtos alimentícios (23). Além disso, a literatura fornece várias evidências que reforçam a posição das antocianinas como componentes nutricionais essenciais com múltiplos efeitos benéficos para a saúde humana (26). Vários estudos recentes demonstraram que as antocianinas com enormes benefícios têm um futuro brilhante para se tornarem populares e contribuir para o desenvolvimento de sistemas de embalagens inteligentes (27; 2).

Apesar do potencial das antocianinas na elaboração de filmes de embalagens inteligentes, sua baixa estabilidade de cor é um desafio. Em alguns casos, um sensor não revela o desempenho necessário para rastrear o estágio de deterioração por sua variação de cor. Esse defeito tem duas causas principais: primeiro, o tipo de indicador e, em particular, o tipo e características das antocianinas presentes na planta; e o segundo, devido ao tipo e forma como o suporte é usado para produzir o indicador (27; 2).

Os filmes à base de antocianinas são geralmente preparados pela técnica de *casting* em solução, na qual o extrato de antocianina é totalmente misturado com polissacarídeos ou polímeros proteicos usando um solvente comum. Vários polissacarídeos (por exemplo, amido, celulose, quitosana, pectina e alginato) e proteínas (por exemplo, gelatina, zeína e isolado de proteína de soja) foram utilizados na preparação de filmes à base de antocianina (4). Em particular, os filmes de embalagem inteligente com indicador de cor à base de polímeros incorporados com antocianinas são úteis para monitorar o frescor dos alimentos, além de melhorar as propriedades mecânicas das embalagens.

APLICAÇÕES DE ANTOCIANINA COMO INDICADORES DE FRESCOR DO LEITE

O leite é um alimento altamente nutritivo, o que o torna um meio propício para o desenvolvimento de microrganismos deterioradores. Assim, é essencial explorar métodos rápidos para detecção em tempo real de deterioração em produtos alimentícios com prazo de validade limitado, como o leite (1). A decomposição do leite leva a alterações no pH do meio, comprometendo sua estabilidade. Assim, o valor do pH é um índice importante para avaliar o frescor do leite. A Figura 3 destaca o potencial das antocianinas para servir como indicadores de pH em embalagens de leite.

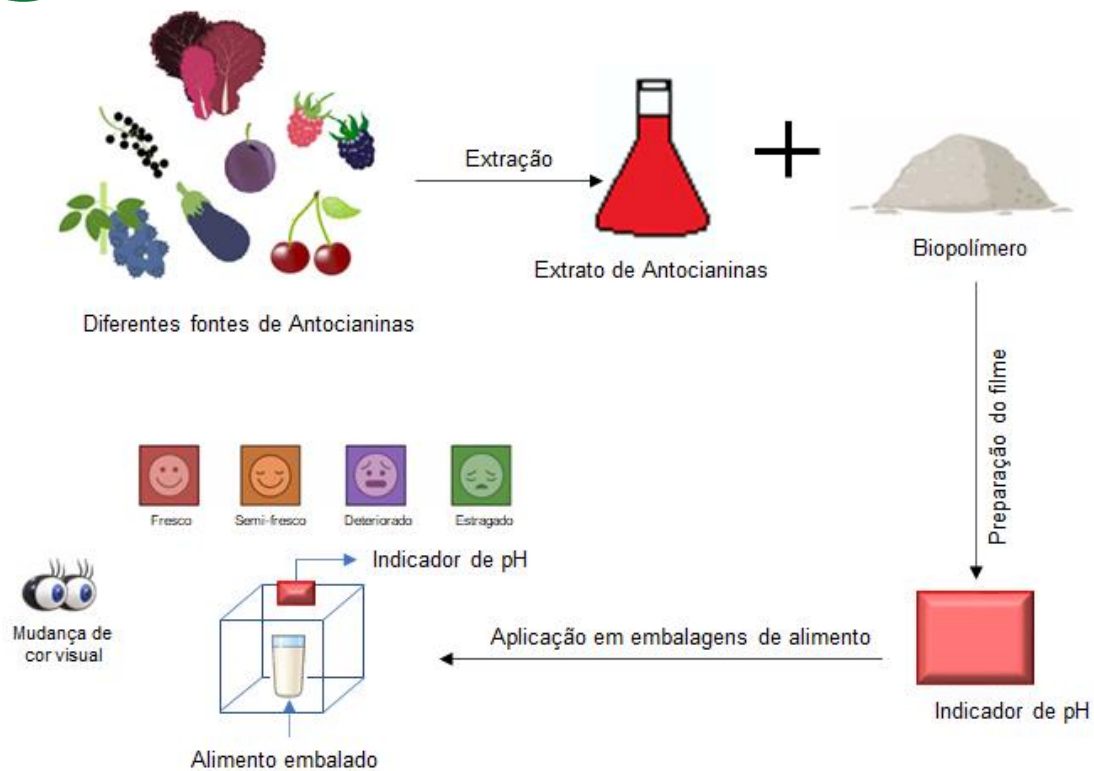


Figura 3 – Filmes ricos em antocianinas como um indicador de frescor em leite.

A Tabela 1 mostra estudos recentes que usam filmes ricos em antocianina como um indicador sensível ao pH/ agente antioxidante para monitorar o frescor/deterioração do leite.

Tabela 6 – Estudos recentes que usaram filmes ricos em antocianina como um indicador sensível ao pH/agente antioxidante para monitorar o frescor/deterioração do leite.

Produto	Baseado em filme/outros componentes ativos	Fonte de antocianinas	Faixa de mudança de pH	Intervalo de mudança de cor	Referência
Leite	Zeína, gelatina, Fe ²⁺	Mirtilo	7,0 – 3,0	Preto roxo para vermelho violeta	(28)
Leite	Quitosana	Tomate roxo (<i>Solanum lycopersicum</i>)	6,8–5,0	Verde para rosa	(29)
Leite	Fécula de batata	Cenoura preta (<i>Daucus carota</i> ssp. <i>Sativus</i> var. <i>atrorubens</i>)	6,5–5,7	Azul escuro a roxo	(1)
Leite	Celulose/quitosana	Cenoura preta (<i>Daucus carota</i> ssp. <i>Sativus</i> var. <i>atrorubens</i>)	6,6–5,7	Rosa azul a violeta	(2)
Leite	Quitosana	Berinjela roxa (<i>Solanum melongena</i>)	6.6–4.4	Azul esverdeado a roxo claro	(30)
Leite	Quitosana	Berinjela preta (<i>Solanum melongena</i>)	6.6–4.4	Azul esverdeado a roxo escuro	(30)
Leite	κ-carragenina	Mulberry (<i>Morus nigra</i>)	6,8–3,9	Cinza escuro a marrom	(31)
Leite	κ-carragenina	Espinho da caixa russa (<i>Lycium ruthenicum</i>)	6,7–3.2	Cinza a rosa escuro	(31)

Gao et al. (28) incorporaram antocianinas de mirtilo, gelatina e Fe^{2+} à matriz de zeína pelo método de eletrofiliação no preparo de filmes indicadores colorimétricos para monitorar o frescor do leite. Os resultados de microscopia eletrônica de varredura, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier e difração de raios X mostraram que havia ligações de hidrogênio intermoleculares entre os componentes, associando-se à maior diferença de cor dos filmes indicadores. A análise espectral UV-vis mostrou que as soluções de antocianina de mirtilo contendo gelatina e Fe^{2+} exibiram os picos de absorção de maior intensidade. A capacidade ótima de distinguir o pH (3–7) das soluções foi apresentada pelo filme indicador incorporando gelatina (1% (p/v)) e Fe^{2+} (0,07 mg/mL) do que as do filme indicador de controle, que foi sugerido pelos maiores valores de diferença de cor total (ΔE). Gelatina e Fe^{2+} aumentaram a sensibilidade de resposta de cor do filme indicador ao pH. O filme pôde ser usado com sucesso para detectar o frescor do leite, cujas mudanças de cor eram visualmente perceptíveis: do preto roxo (leite fresco) ao roxo real (leite estragado) e depois ao vermelho violeta (leite estragado). Além disso, os parâmetros de cor (L^* , a^* , R, G e B) dos filmes indicadores, especialmente o filme indicador contendo gelatina e Fe^{2+} , revelou alta correlação com o pH/acidez do leite durante o armazenamento. Todos os resultados mostraram que a interação entre gelatina, Fe^{2+} e antocianina afetou as cores do filme indicador, tornando mais fácil distinguir as soluções ou amostras com diferentes valores de pH (3-7).

Li et al. (29) incorporaram antocianina roxa do tomate na matriz de quitosana por meio do método de moldagem de solução com concentração de antocianina roxa do tomate (m/m, com base na quitosana) de 10%, 30 % e 50%, respectivamente, para monitorar o frescor/deterioração do leite. De acordo com os resultados, a cor dos filmes quitosana/ antocianina roxa do tomate originais tornou-se mais escura com uma melhoria do teor de antocianina roxa do tomate e expressou bem a sensibilidade ao pH. A mudança na cor do filme quitosana/10% antocianina roxa do tomate foi de rosa (pH = 3) → roxo claro (pH = 5) → verde brilhante (pH = 7) → verde claro (pH = 9) → amarelo claro (pH = 11). A mudança na cor do filme quitosana/30% antocianina roxa do tomate foi de fúcsia (pH = 3) → roxo escuro (pH = 5) → azul escuro (pH = 7) → verde (pH = 9) → verde-amarelo (pH = 11). A mudança na cor do filme quitosana/50% antocianina roxa do tomate foi de fúcsia (pH = 3) → azul → verde (pH = 11). Entre eles, a cor dos filmes quitosana/ antocianina roxa do tomate expostos a soluções de pH = 3 - 11 tornou-se mais escura e a mudança na cor do filme quitosana/10% antocianina roxa do tomate foi a mais perceptível. A resistência à tração e o módulo de Young do filme quitosana/ antocianina roxa do tomate foi muito menor do que o do filme quitosana. No entanto, o alongamento na ruptura e o índice de inchamento foram melhorados pela adição de antocianina roxa do tomate. Os filmes inteligentes com 10% de antocianina roxa do tomate mudaram de cor durante a deterioração progressiva do leite ou peixe, revelando seu potencial de aplicação para monitorar o frescor/deterioração de alimentos.

Goodarzi et al. (1) imobilizaram antocianinas de cenoura preta dentro da matriz de amido (teor total de antocianinas de 10 mg/100 mL) para monitorar o frescor/deterioração do leite. De acordo com os resultados, a incorporação de antocianinas de cenoura preta não alterou o índice de inchamento e a solubilidade em água. O rótulo preparado apresentou alterações de cor visíveis em função do pH e excelente estabilidade de cor após um mês de armazenamento em diferentes condições. O

valor da diferença de cor total do indicador correspondeu ao pH, acidez e crescimento microbiano do leite pasteurizado. O rótulo desenvolvido pode discriminar o leite fresco do leite que entrou nas etapas inicial (diferença de cor total: 7,8 após 24 h) e final (diferença de cor total: 34,8 após 48 h) de deterioração. O rótulo fabricado abre uma nova perspectiva para o uso de biopolímeros incorporados com antocianinas na embalagem inteligente do leite como um indicador de frescor simples e de fácil utilização.

Tirtashi et al. (2) incorporaram antocianinas de cenoura preta em uma matriz de celulose-quitosana pelo método sol-gel. O intumescimento e a solubilidade em água aumentaram com a incorporação de antocianinas de cenoura preta no filme de quitosana-celulose. O indicador de pH colorimétrico mostrou uma variação de cor da solução de antocianinas de cenoura preta de rosa em pH 2–6, roxa em pH 7, azul quando o pH foi aumentado de 8 para 10 e depois mudou para cinza em pH 11. O maior valor para o parâmetro de L^* foi observado em pH 2, significando uma cor vermelha mais intensa e transparência neste pH. O parâmetro a^* (verde – vermelho) apresentou tendência decrescente à medida que o pH aumentava. Uma tendência semelhante foi observada para parâmetro b^* , cujos valores indicam uma tendência de cor para azul, roxo e amarelo. O valor mais alto para diferença de cor total (ΔE) foi registrado em pH 2, enquanto os valores de ΔE do indicador foram menores que 15 em pH de 3 – 11. O pH inicial e acidez titulável do leite pasteurizado foi de 6,6 e 16 °D, respectivamente, e atingiu até 5,7 e 26,5 °D após 48 h de armazenamento a 20 °C. A contagem de mesófilos total do leite atingiu 7,45 log UFC/mL ao final do armazenamento. A maior mudança de cor foi reconhecida com ΔE de 3,53 a 29,28, respectivamente, em 24 e 48 h (leite estragado). Houve uma correlação alta e negativa entre o pH do leite e os valores de ΔE do indicador com coeficientes de correlação de -0,993. Além disso, as relações entre acidez total e contagem de mesófilos total do leite com o ΔE do indicador foram fortes e positivas ($R = 0,975$ e $0,965$, respectivamente).

Yong et al. (30) desenvolveram filmes pela mistura de quitosana com extrato de berinjela roxa ou extrato de berinjela preta ricos em antocianinas. Os resultados mostraram que os teores de antocianina no extrato de berinjela roxa e no extrato de berinjela preta foram de 93,10 e 173,17 mg g⁻¹, respectivamente. Além disso, as composições de antocianinas do extrato de berinjela roxa e do extrato de berinjela preta foram totalmente diferentes. Extrato de berinjela roxa e extrato de berinjela preta aumentaram o azul, a espessura, a barreira de luz UV-vis e as propriedades mecânicas do filme de quitosana. No entanto, extrato de berinjela roxa não alterou o teor de umidade do filme quitosana e extrato de berinjela preta não alterou a permeabilidade ao vapor de água do filme quitosana. A observação da microestrutura mostrou baixos teores (1 e 2% em peso) de extrato de berinjela roxa e extrato de berinjela preta bem distribuídos na matriz quitosana. Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier revelou a existência de interações intermoleculares entre quitosana e extratos. A difração de raios X indicou que extrato de berinjela roxa e extrato de berinjela preta aumentaram um pouco a cristalinidade do filme quitosana. A capacidade antioxidante do filme quitosana foi notavelmente aumentada por extrato de berinjela roxa e extrato de berinjela preta. Além disso, os filmes quitosana - extrato de berinjela roxa e quitosana- extrato de berinjela preta foram sensíveis ao pH e mostraram mudanças notáveis de cor em diferentes soluções tampão, o que pode ser usado para monitorar a deterioração do leite.

Liu et al. (31) desenvolveram filmes à base de κ -carragenina incorporando diferentes quantidades de antocianinas do extrato polifenólico de amoreira. Os resultados mostraram que as antocianinas do extrato polifenólico de amoreira apresentaram propriedade sensível ao pH com a cor da solução alterada de vermelho para roxo e cinza final quando o valor do pH aumentou de 2 para 13. Quando as antocianinas do extrato polifenólico de amoreira foram incorporadas ao filme de κ -carragenina, os filmes compostos apresentaram cor azul. Notavelmente, a incorporação de 2 e 4% em peso de antocianinas do extrato polifenólico de amoreira aumentou significativamente a espessura, resistência à tração, estabilidade térmica, atividade antioxidante e propriedade sensível ao pH do filme de κ -carragenina. Por outro lado, o teor de umidade, permeabilidade ao vapor de água, transmitância de luz UV-vis e alongamento na ruptura foram bastante reduzidos quando 2 e 4% das antocianinas do extrato polifenólico de amoreira foram incorporados. A espectroscopia de infravermelho e difração de raios-X confirmaram a existência de interações intermoleculares entre as antocianinas do extrato polifenólico de amoreira e a matriz κ -carragenina. Quando aplicados para monitorar o frescor do leite, os filmes de κ -carragenina - antocianinas do extrato polifenólico de amoreira mostraram mudanças de cor evidentes à medida que o leite se deteriorava após armazenamento a 40 °C por 8 h.

DESAFIOS E PERSPECTIVAS FUTURAS

A incorporação de extratos ricos em antocianinas aos filmes à base de biopolímeros pode ampliar seu escopo de uso potencial no desenvolvimento da próxima geração de embalagens inteligentes com excelente desempenho. Os estudos na área de ciência e tecnologia de laticínios oferecem um imenso potencial das antocianinas para melhorar as propriedades físico-químicas, de barreira e mecânicas. No entanto, pesquisas são necessárias para trazer esses modelos de prova de conceito do laboratório para aplicações no mundo real, visto que ainda existem muitas limitações na aplicação de embalagens inteligentes sensíveis ao pH à base de antocianina: (1) a estabilidade das antocianinas; (2) a composição real dos alimentos é complexa; (3) as diferenças nas fontes de antocianina e na matriz do filme levam a grandes diferenças nas propriedades indicativas de pH e físico-químicas dos filmes de embalagem; (4) o aumento do custo das embalagens inteligentes na indústria alimentícia limita sua ampla aplicação.

Diante dos desafios apresentados, espera-se que as pesquisas futuras acerca das antocianinas forneçam grandes oportunidades para inspirar pesquisadores não apenas a realizar mais pesquisas de ponta com o objetivo de desenvolver uma produção de antocianina econômica e eficiente, mas também para examinar as aplicações práticas de filmes ricos em antocianina em uma ampla variedade de alimentos perecíveis. Exemplos de potenciais aplicações são nas embalagens de vegetais minimamente processados e produtos à base de carne e pescado, incluindo os alimentos prontos para o consumo.

CONCLUSÕES

Os indicadores baseados em antocianinas demonstraram um grande potencial para monitorar o frescor de leite e outros alimentos perecíveis. As antocianinas podem ser usadas para rastrear as mudanças de pH associadas à decomposição de alimentos por uma

mudança de cor altamente perceptível que pode ser facilmente percebida pelos consumidores. Em comparação com outros indicadores de frescor baseados em pH, as antocianinas têm a vantagem de serem de origem natural, baratas e fáceis de incorporar em polímeros ecológicos à base de água, como quitosana, celulose ou amido. No entanto, ainda existem alguns desafios que devem ser superados para uma implementação bem-sucedida de indicadores baseados em antocianinas. Além disso, a nível industrial, mais pesquisas são necessárias para ampliar a produção de indicadores baseados em antocianinas e desenvolver técnicas economicamente viáveis para incluí-las nas embalagens comuns usadas em alimentos nos diferentes segmentos da indústria alimentícia.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições que contribuíram diretamente para a execução desse trabalho, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG-ILCT).

REFERÊNCIAS

1. Goodarzi MM, Moradi M, Tajik M, Forough M, Ezati P, Kuswandi B. Development of an easy-to-use colorimetric pH label with starch and carrot anthocyanins for milk shelf-life assessment. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020;153:240-247.
2. Tirtashi FE, Moradi M, Tajik H, Forough M, Ezati P, Kuswandi B. Cellulose/chitosan pH-responsive indicator incorporated with carrot anthocyanins for intelligent food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019;136:920-926.
3. Lan W, Wang S, Zhang Z, Liang X, Liu X, Zhang J. Development of red apple pomace extract/chitosan-based films reinforced by TiO₂ nanoparticles as a multifunctional packaging material. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021;168:105-115.
4. Oladzadabbasabadi N, Nafchi AM, Ghasemlou M, Ariffin F, Singh Z, Al-Hassan AA. Natural anthocyanins: Sources, extraction, characterization, and suitability for smart packaging. *Food Packaging and Shelf Life*, 2022;33:100872.
5. Cevallos-Casals BA, Cisneros-Zevallos L. Stoichiometric and kinetic studies of phenolic antioxidants from Andean purple corn and red-fleshed sweet potato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2003 51:11:3313-9.
6. Katsumoto Y, Fukuchi-Mizutani M, Fukui Y, Brugliera F, Holton TA, Karan M, Nakamura N, Yonekura-Sakakibara K, Togami J, Pigeaire A. Engineering of the rose flavonoid biosynthetic pathway successfully generated blue-hued flowers accumulating delphinidin. *Plant Cell Physiol*, 2007;48:11:1589-600.
7. Jaakola L. New insights into the regulation of anthocyanin biosynthesis in fruits. *Trends Plant Sci*, 2013;18:9:477-83.
8. Mazza G. Anthocyanins in grapes and grape products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1995;35:4:341-71.

9. Khoo HE, Azlan A, Tang S.T, Lim SM. Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food & Nutrition Research*, 2017;61:1:1361779.
10. Slimestad R, Solheim H. Anthocyanins from black currants (*Ribes nigrum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002;50:11:3228–31.
11. Castaneda-Ovando A, Pacheco-Hernandez M, PaezHernandez ME, Rodriguez JA, Galan-Vidal AC. Chemical studies of anthocyanins: A review. *Food Chemistry*, 2009;113:4:859–71.
12. Miguel M G. Anthocyanins: Antioxidant and/or anti-inflammatory activities. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2017;1:6:7–15.
13. Fossen T, Cabrita L, Andersen OM. Color and stability of pure anthocyanins influenced by pH including the alkaline region. *Food Chemistry* , 1998;63:4:435–40.
14. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 259, de 20 de setembro de 2002. Regulamento técnico para rotulagem de alimentos embalados. Brasília, DF, 2002.
15. Carrillo E, Varela P, Fiszman S. Effects of food package information and sensory characteristics on the perception of healthiness and the acceptability of enriched biscuits. *Food Research International*, 2012;48:1:209-216,
16. Păușescu I, Todea A, Badea V, Peter F, Medeleanu M, Ledeti I, Vlase T. Optical and thermal properties of intelligent pH indicator films based on chitosan/PVA and a new xanthylum dye. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020;141:3:999-1008.
17. Pereira VA, de Arruda INQ, Stefani R. Active chitosan/PVA films with anthocyanins from *Brassica oleraceae* (Red Cabbage) as time-temperature indicators for application in intelligent food packaging. *Food Hydrocolloids*, 2015;43:180-188,
18. Pourjavaher S, Almasi H, Meshkini S, Pirsá S, Parandi E. Development of a colorimetric pH indicator based on bacterial cellulose nanofibers and red cabbage (*Brassica oleraceae*) extract. *Carbohydrate Polymers*, 2017;156:193-201
19. Bilgiç S, Söğüt E, Seydim AC. Chitosan and starch based intelligent films with anthocyanins from eggplant to monitor pH variations. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 2019;7:61-66,
20. Zhang K, Huang TS, Yan H, Hu X, Ren T. Novel pH-sensitive films based on starch/polyvinyl alcohol and food anthocyanins as a visual indicator of shrimp deterioration. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2020;145:768-776,
21. Roy S, Rhim JW. Anthocyanin food colorant and its application in pH-responsive color change indicator films. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020;1-29,
22. Ardiyansyah MF, Kurnianto, Poerwanto B, Wahyono A, Apriliyanti MW, Lestari IP. Monitoring of banana deteriorations using intelligent-packaging containing brazilien extract (*Caesalpinia sappan* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2020;411:1.

23. Chi W, Cao L, Sun G, Meng F, Zhang C, Li J, Wang L. Developing a highly pH-sensitive κ -carrageenan-based intelligent film incorporating grape skin powder via a cleaner process. *Journal of Cleaner Production*, 2020;244:118862.
24. Kabir F, Bhuiyan MMH, Manir MS, Rahaman MS, Khan MA, Ikegami T. Development of dye-sensitized solar cell based on combination of natural dyes extracted from Malabar spinach and red spinach, *Results in Physics*, 2019;14:102474.
25. Jafarzadeh S, Salehabadi A, Nafchi SM, Oladzadabbasabadi N, Jafari SM. Cheese packaging by edible coatings and biodegradable nanocomposites; Improvement in shelf life, physicochemical and sensory Properties. *Trends in Food Science & Technology*, 2021;116:218-231.
26. Abdel-Aal ESM, Akhtar H, Rabalski I, Bryan M. Accelerated, microwave-assisted, and conventional solvent extraction methods affect anthocyanin composition from colored grains. *Journal of Food Science*, 2014;79:2.
27. Ahmad AN, Abdullah Lim S, Navaranjan N. Development of sago (Metroxylon sago)-based colorimetric indicator incorporated with butterfly pea (*Clitoria ternatea*) anthocyanin for intelligent food packaging. *Journal of Food Safety*, 2020;40:4.
28. Gao R, Hu H, Shi T, Bao Y, Sun Q, Wang L, Ren Y, Jin W, Yuan L. Incorporation of gelatin and Fe²⁺ increases the pH-sensitivity of zein-anthocyanin complex films used for milk spoilage detection. *Current Research in Food Science*, 2022;5:677-686.
29. Li Y, Wu K, Wang B, Li X. Colorimetric indicator based on purple tomato anthocyanins and chitosan for application in intelligent packaging (a) (b) (c) (d). *International Journal of Biological Macromolecules*, 2021;174:370-376.
30. Yong H, Wang X, Zhang X, Liu Y, Qin Y, Liu J. Effects of anthocyanin-rich purple and black eggplant extracts on the physical, antioxidant and pH-sensitive properties of chitosan film. *Food Hydrocolloids*, 2019;94:93-104.
31. Liu Y, Qin Y, Bai R, Zhang X, Yuan L, Liu J. Preparation of pH-sensitive and antioxidant packaging films based on κ -carrageenan and mulberry polyphenolic extract. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2019;34:993-1001.

Capítulo 37

Doi.org/10.53934/9786599965814-37

AS ABÓBORAS, CAROTENOIDES CARACTERÍSTICOS E POTENCIAL ALIMENTAR FUNCIONAL DE SUAS SEMENTES: REVISÃO DE LITERATURA

Wilson de Almeida Orlando Junior *; Ana Flávia Coelho Pacheco ; Kely de Paula Correa ; Isabella de Andrade Rezende ; Paulo Henrique Costa Paiva ; Flaviana Coelho Pacheco 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: wilson.junior@epamig.br

Prof. Dr. Wilson de Almeida Orlando Junior, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. Dra. Ana Flávia Coelho Pacheco, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. Dra. Kely de Paula Correa, Professora/pesquisadora do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG

Prof. M.Sc. Isabella de Andrade Rezende, Centro Universitário de Viçosa - UNIVIÇOSA.

Prof. Dr. Paulo Henrique Costa Paiva, Professor/pesquisador do Instituto de Laticínios Cândido Tostes – EPAMIG-MG.

Flaviana Coelho Pacheco, Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos UFV e Membro do Laboratório de Inovação no Processamento de Alimentos – LIPA/DTA/UFV.

Resumo: As abóboras pertencem à família *Cucurbitaceae*, destacando-se as espécies *Curcubita moschata*, *C. argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouche, *C. maxima* Duchesne, *C. moschata* Duchesne e *C. pepo* L. São compostas por fitoquímicos, incluindo carotenoides, que desempenham várias atividades biológicas oriundas de mecanismos relacionados ao metabolismo. Evidências de vários estudos epidemiológicos em animais e testes em humanos demonstram as ações farmacológicas dos carotenoides da abóbora. Os resíduos da abóbora como as sementes também apresentam benefícios à saúde humana. Estas sementes contêm principalmente óleo e proteínas de grande potencial para serem usadas como ingredientes alimentares funcionais. Esta revisão apresenta aspectos relevantes da cultura da abóbora que são pouco explorados e precisam de maior atenção, bem como de seus carotenoides característicos. Além disso, traz informações sobre a composição das sementes de abóbora, com foco nos óleos e proteínas que apresentam potencial promissor como ingrediente funcional.

Palavras-chave: Alimentos Funcionais; Óleos Essenciais; Propriedades Bioativas; Proteínas de Semente de Abóbora.

Abstract: Pumpkins belong to the *Cucurbitaceae* family, with emphasis on the species *Curcubita moschata*, *C. argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouche, *C. maxima* Duchesne, *C. moschata* Duchesne and *C. pepo* L. They are composed of phytochemicals, including carotenoids, that perform various biological activities arising from mechanisms related to metabolism. Evidence from multiple animal epidemiological studies and human trials demonstrate the pharmacological actions of pumpkin carotenoids. Pumpkin residues such

as seeds also have benefits for human health. These seeds contain mainly oil and proteins of great potential to be used as functional food ingredients. This review presents relevant aspects of pumpkin culture that are little explored and need more attention, as well as its characteristic carotenoids. In addition, it provides information on the composition of pumpkin seeds, focusing on oils and proteins that have promising potential as a functional ingredient.

Key words: Functional Foods; Essencial oils; Bioactive Properties; Pumpkin Seed Proteins.

INTRODUÇÃO

A abóbora, fruto da aboboreira, é uma olerícola, pertencente a ordem *Curcubitales*, da família *Curcubitaceae*. Seu cultivo tem se ampliado nas regiões tropicais ao redor do mundo, principalmente nas zonas de baixa altitude e clima quente, ganhando mais importância econômica ao passar dos anos [1]. Num total de 24 espécies que são compreendidas pelo gênero *Curcubita*, seis delas se destacam: *C. moschata*, *C. argyrosperma* Huber, *C. ficifolia* Bouche, *C. maxima* Duchesne, *C. moschata* Duchesne e *C. pepo* L. Sua composição nutricional é um dos fatores que a torna um alimento tão comum na alimentação humana, visto que é fonte de vitaminas (A, B e C), fibras, magnésio, cálcio, ferro e caroteno [2]. Suas sementes também possuem um valor nutricional considerável, fornecendo proteínas e óleos (ácidos graxos) [3].

O gênero *Curcubita*, que é nativo das Américas, possui uma das mais diversas morfologias dos frutos e estruturas quando comparado com outras espécies do reino vegetal. Apresenta um número elevado de cromossomos ($2n = 40$), o que sugere que o gênero se originou por meio de alopoliploidia [4]. Sua planta possui caule herbáceo, rastejante, raízes adventícias e gavinhas que auxiliam na fixação da planta, hábito de crescimento indeterminado, ramos longos, folhas grandes com coloração verde-escura, apresentando manchas prateadas e pecíolos longos. Durante o seu florescimento há uma maior predominância de flores masculinas em relação às femininas na maioria das cultivares. Estas flores se destacam pelo seu tamanho. São grandes e amareladas, sendo que as femininas possuem o ovário bastante aparente. Além disso, são totalmente dependentes das abelhas para a polinização e conseqüentemente o desenvolvimento do seu fruto [5].

A grande diversidade dentre as espécies encontradas no Brasil se deve à troca de sementes que ocorria entre os povos (indígenas, quilombolas e também por agricultores familiares) que já cultivavam a abóbora muito antes da chegada dos colonizadores europeus. Com o passar do tempo, isto levou à ocorrência de vários fatores genéticos, como a hibridação, permitindo a ampla base genética que temos na atualidade [2].

A abóbora, classificada como uma hortaliça frutífera, é uma cultura bastante popular e de fácil aceitação, por isso faz parte da alimentação básica na dieta de muitos brasileiros e também de várias outras culturas ao redor do mundo. São de fácil produção e utilizadas para fins na indústria, alimentação, matéria prima para medicamentos e, por isso, são uma importante fonte de emprego e renda [6]. O sistema de produção mais utilizado é o policultivo, que é o cultivo de vários tipos de plantas na mesma área, fazendo-se o uso ou não de tecnologias, como sementes certificadas, sistemas de

irrigação, adubação controlada, manejo de pragas e doenças, uso de máquinas agrícolas, entre outros [7].

A produção exata no Brasil é desconhecida até o presente momento, visto que o último levantamento realizado pelo IBGE foi no ano de 2006, que mostrou uma produção de 385 mil toneladas de frutos maduros, em uma área cultivada de pouco mais de 88 mil hectares e uma produtividade de 4,4 toneladas por hectare. Alguns dados mais recentes, fornecidos pela Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM) estimam a produção brasileira de abóbora em 726 mil toneladas por ano apenas de abóboras japonesas e mais 551 toneladas por ano de abobrinhas [8]. Enquanto a produção mundial de abóbora foi de 27 milhões de toneladas, sendo a China responsável por 29% deste valor. [1].

Outra característica da abóbora que tem ganhado muita atenção são suas sementes, que são ricas fontes de nutrientes essenciais como óleos (37-45%) e proteínas (25-37%) [9]. É fonte de fitoesteróis, compostos fenólicos, antioxidantes, tocoferóis e pequenos níveis de carotenoides, que são responsáveis por atividades biológicas benéficas para a saúde humana [10]. Além disso, ajudam na prevenção de doenças gástricas, câncer de mama, colorretal e pulmão, retardo na progressão da hipertensão, doenças de próstata artrite, dentre outras [11] [12].

Diante do exposto, objetivou-se com esta revisão apresentar alguns aspectos relevantes da cultura da abóbora que são pouco estudados e precisam de maior atenção, bem como de seus carotenoides característicos. Além disso, traz informações sobre a composição das sementes de abóbora, com foco nos óleos e proteínas, que apresentam potencial promissor como ingrediente alimentar funcional.

CAROTENOIDES CARACTERÍSTICOS DA ABÓBORA

Os carotenoides são compostos pigmentados, sintetizados apenas por plantas e microrganismos e que atuam como substâncias antioxidantes. Nas plantas, participam de alguns mecanismos de proteção e também na fotossíntese. As frutas e legumes são os alimentos mais comuns na dieta humana e com a maior presença de carotenoides, que são responsáveis por suas cores vermelha, amarela e laranja, o que torna muitas vezes estes alimentos atrativos para o consumidor [13] [14]. Dentre as formas de carotenoides, o β -caroteno (pró-vitamina A) e o α -caroteno são os principais encontrados nas abóboras [15].

Sabe-se, por meio da literatura científica, que existe uma relação entre dieta e doenças crônicas. Diante disto, várias diretrizes foram formuladas ao redor do mundo no intuito de buscar uma prevenção para o câncer, doenças cardiovasculares, diabetes e osteoporose. Uma das recomendações é buscar aumentar o consumo de alimentos vegetais como frutas e legumes já que são ótimas fontes de carotenoides e outros fitoquímicos biologicamente ativos, que possuem vários benefícios oriundos de mecanismos relacionados ao metabolismo [16]. A tabela 1 mostra exemplos de estudos com carotenoides presentes em abóboras e seus benefícios.

Tabela 1 – Efeitos benéficos à saúde de carotenoides de abóbora.

Carotenoides	Benefícios à saúde	Referência
--------------	--------------------	------------

β -caroteno	Reduz a inflamação, luta contra o câncer	[17]
β -caroteno	Aumentar a resposta imune	[18]
Luteína	Prevenir a formação de catarata nos olhos	[17]
Zeaxantina	Prevenir a formação de catarata nos olhos	[17]

As espécies reativas de oxigênio (EROs) são formas reduzidas de oxigênio que são capazes de gerar diversas reações no nosso organismo. As EROs são geradas pela atividade metabólica normal, assim como fatores ligados à qualidade e estilo de vida, como exercícios, dieta, tabagismo, estando implicadas na progressão de várias doenças crônicas. Os antioxidantes são capazes de mitigar este efeito nocivo das EROs, logo, têm ganhado atenção dos pesquisadores. Na Figura 1 se pode observar o efeito do estresse oxidativo e antioxidantes em doenças crônicas [16] [19].

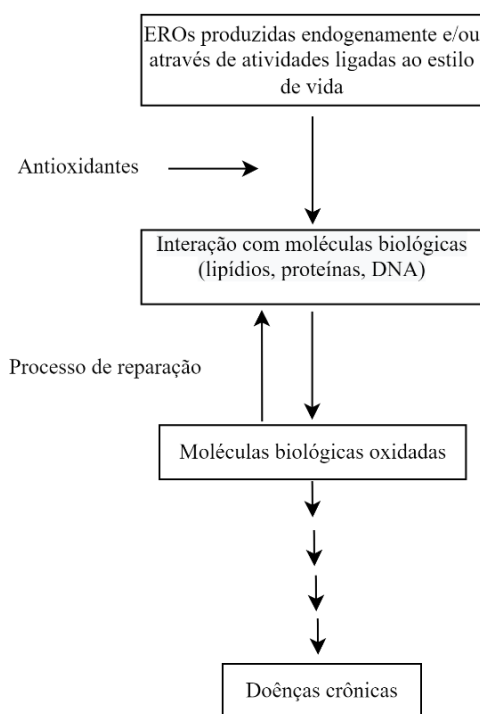


Figura 6 – Estresse oxidativo, antioxidantes e doenças crônicas [14].

Por ser uma importante fonte de carotenoides para o organismo humano, o cultivo de abóbora apresenta grande potencial social e econômico. Isto se dá devido ao maior interesse da população no que diz respeito ao bem-estar e saúde, que vem cada vez mais procurando ingerir alimentos de melhor qualidade e com maiores benefícios.

SEMENTES DE ABÓBORA E POTENCIAL ALIMENTAR FUNCIONAL

Durante o processamento das abóboras, principalmente pelas indústrias de doces, grande quantidade de resíduos são gerados, constituídos principalmente de sementes e cascas. As sementes representam 5% do peso total da abóbora e são uma fonte muito saudável de proteínas e óleo.

A Tabela 2 apresenta a composição centesimal média (%) de sementes de abóbora.

Tabela 2 – Composição centesimal média (%) de sementes de abóbora.

Componente	Conteúdo (%)
Umidade	5,20
Óleo	41,59
Proteína	25,40
Cinzas	5,34
Fibras	2,49
Carboidratos	25,19

Fonte: Ardabili et al. [20].

O óleo de sementes de abóbora tem atraído cada vez mais atenção devido ao seu potencial nutracêutico. Possui ácidos graxos importantes, predominantemente os ácidos linoléico, esteárico, oleico e palmítico [21], que cobrem mais de 95% dos ácidos graxos totais e cerca de 75% dos quais são ácidos graxos insaturados [22], conforme apresentado na Tabela 3. Além disso, pequenas concentrações de outros ácidos graxos como o ácido araquídico e linolênico também foram relatadas [20].

Tabela 3 – Conteúdo de ácidos graxos do óleo de sementes de abóbora.

Ácido graxo	mg/100g
Ácido cáprico (C10:0)	0,45
Ácido láurico (C12:0)	1,34
Ácido mirístico (C14:0)	0,01 – 0,20
Ácido palmítico (C16:0)	1,57 – 27,78
Ácido esteárico (C18:0)	0,78 – 13,46
Ácido oleico (C18:1)	2,93 – 42,80
Ácido Linoleico (C18:2)	4,59 – 69,12
Ácido Linolênico (C18:3)	0,20 – 2,25
Palmitoleico (C16:1)	0,13 – 0,20
Ácido araquídico (C20:0)	0,30 – 2,20

Fonte: Ardabili et al. [20].

Os ácidos graxos insaturados têm sido extensivamente estudados devido aos seus efeitos benéficos ao organismo (Tabela 4).

Tabela 3 – Conteúdo de ácidos graxos do óleo de sementes de abóbora.

Benefícios para a saúde	Referência
Promove a formação de colágeno	[23]
Diminuir o risco de e hipertrofia	[24]
Atua como anti-helmíntico e anti-emético	[25]
Atividades antimicrobianas de amplo espectro	[26]
Prevenção da artrite	[27]
Atua como anti-helmíntico e anti-emético	[25]

O óleo de sementes de abóbora também inclui quantidades elevadas de numerosos constituintes não triacilglicerois, como os tocoferóis, que desempenham um papel vital na supressão da formação de radicais livres em sistemas biológicos [28].

Além disso, o óleo de sementes de abóbora contém quantidades específicas de compostos fenólicos. Os compostos fenólicos formam um amplo grupo de compostos sintetizados como produtos metabólicos secundários em plantas [29; 30] possuindo propriedades antioxidantes essenciais [31]. Isso devido à presença de um grupo funcional hidroxila que possui capacidade de eliminação de radicais, tornando-o adequado para reduzir o risco de algumas doenças degenerativas induzidas por oxidação [32]. Conforme apresentado na Tabela 3 , os estudos descobriram que os compostos fenólicos dominantes nas sementes de abóbora são os ácidos tirosol , vanilina , p-hidroxibenzóico, caféico, ferúlico e vanílico; e algumas pequenas quantidades de ácidos luteolina, protocatecuico, trans-p-cumárico e siríngico .

As proteínas têm uma série de funções no desenvolvimento saudável da população, principalmente em relação ao fornecimento de aminoácidos essenciais para a nutrição humana [33]. Neste sentido, o fornecimento dietético de aminoácidos essenciais em quantidade e qualidade adequados é igualmente importante para as funções fisiológicas do corpo humano.

No caso das proteínas de sementes de abóbora, estas apresentam quase todos os aminoácidos essenciais e que desempenham papéis importantes tanto como unidades de construção proteica quanto como intermediários no metabolismo [34]. A composição média de aminoácidos das proteínas de sementes de abóbora é apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Perfil de aminoácidos (g/100 g) em sementes de abóbora.

Aminoácido	Conteúdo (g/100 g)
Alanina	0,74 - 6,9
Arginina	1,70 - 23,10
Ácido aspártico	2,05 - 2,70
Cistina	0,40 - 6,40
Ácido glutâmico	3,50 - 3,73
Glicina	1,50 - 6,80
Histidina	0,80 - 3,00

Isoleucina	0,81 - 4,90
Leucina	2,30 – 12,20
Lisina	1,50 - 4,00
Metionina	0,30 - 2,10
Fenilalanina	1,30 - 8,20
Prolina	1,70 - 5,00
Serina	0,64 - 7,40
Treonina	0,83 - 3,40
Triptofano	0,60
Tirosina	0,83 - 4,30
Valina	1,36 - 6,70

Fonte: Asiegbu [35]

A maior fração proteica das sementes de abóbora é representada pelas globulinas 12S. As globulinas 12S das sementes de abóbora são também chamadas de cucurbitinas e são homólogas às relatadas em sementes de leguminosas, como as proteínas de soja [36]. A molécula de globulinas 12S tem uma massa molar de 325 kDa e é composta por seis subunidades semelhantes de massa molar igual a 54 kDa. Estas subunidades, por sua vez, contêm duas cadeias polipeptídicas (massas molares de aproximadamente 33 kDa e 22 kDa, respectivamente) que interagem entre si por meio de ligações dissulfeto [37]. As globulinas 12S são acompanhadas por albuminas 2S e essas duas frações proteicas juntas compõem 59% do teor de proteína bruta em sementes de abóbora [36]. Além disso, pequenas quantidades de globulinas 18S foram detectadas, as quais provaram ser um dímero dos componentes 12S [37].

A semelhança da proteína de sementes de abóbora com a de soja indica que as propriedades técnico-funcionais são comparativas às das proteínas de sementes de leguminosas, como capacidade emulsificante, espumante e gelificante [36]. Além disso, as proteínas de sementes de abóbora também podem ser usadas na obtenção de hidrolisados com melhores propriedades técnico-funcionais em relação à proteína nativa. Bučko et al. [38] estudaram a influência da hidrólise enzimática na solubilidade, propriedades interfaciais e emulsificantes do isolado proteico de sementes de abóbora (IPSA). Com a hidrólise enzimática, a solubilidade dos hidrolisados de IPSA aumentou em relação à IPSA nativa no intervalo de pH avaliado. A investigação tensiométrica mostrou que IPSA e seus hidrolisados adsorveram nas interfaces da solução ar-proteína e da solução óleo-proteína em todo o pH (3-8) e força iônica (0 - 1 mol dm⁻³ NaCl) testados. Isso foi evidenciado devido ao aumento na tensão interfacial após um aumento na concentração de proteína em solução. IPSA nativa não apresentou capacidade emulsificante nas condições avaliadas, porém os seus hidrolisados apresentaram capacidade emulsificante independentemente do pH e da força iônica.

Aliado ao incremento técnico-funcional proporcionado, os hidrolisados contêm peptídeos que podem desempenhar propriedades potencialmente biológicas como antioxidante, anti-hipertensiva e antidiabética [39; 40; 41; 42]. Esses peptídeos são denominados como “peptídeos bioativos” e são geralmente compostos de 2 a 20 resíduos de aminoácidos [43].

Na tabela 6 são apresentados estudos que mostram as propriedades técnico-funcionais e biológicas desempenhadas por hidrolisados e peptídeos de proteínas de sementes de abóbora obtidos pela ação de proteases.

Tabela 6 – Propriedades técnico-funcionais e biológicas de hidrolisados e peptídeos de proteínas de sementes de abóbora obtidos pela ação de proteases.

Substrato	Propriedades	Referências
Proteína isolada	Solubilidade e Capacidade emulsificante	[38]
Proteína isolada	Atividade inibidora da ECA e antioxidante (<i>in vitro</i>)	[39]
Proteína isolada	Atividade antioxidante (<i>in vitro</i>)	[40]
Proteína isolada	Atividade antioxidante (<i>in vitro</i>)	[41]
Cucurbitina	Atividade inibitória da ECA, antioxidante e α – amilase (<i>in vitro</i>)	[42]

CONCLUSÕES

A abóbora é uma rica fonte de nutrientes e fitoquímicos como os carotenoides, os quais exibem bioatividades para melhoria da saúde humana. Além disso, mesmo ainda sendo considerada um resíduo, as sementes de abóbora são ricas em óleo e proteínas que apresentam potencial promissor para serem utilizadas como ingrediente alimentar funcional.

Apesar dos resultados promissores das pesquisas desenvolvidas acerca das abóboras e seus componentes intrínsecos, a comunidade científica tem ainda um vasto campo para exploração científica, principalmente no intuito de investigar o potencial dos carotenoides característicos da abóbora e dos óleos e proteínas das sementes de abóbora como ingredientes alimentares funcionais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as instituições que contribuíram diretamente para a execução desse trabalho, como a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - Instituto de Laticínios Cândido Tostes (EPAMIG-ILCT).

REFERÊNCIAS

1. Rohman, A. & Irnawati. Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed oil: chemical composition, antioxidant activities and its authentication analysis. *Food Research*. 2020;3:578–584.
2. Ferreira, m. A. J. da f. Abóboras e morangas. In: BARBIERI, R. L; STUMPF, E. R. T. (Eds.). *Origem e evolução de plantas cultivadas*. Embrapa Informações Tecnológicas, 2008. p. 59-88.
3. Cerqueira, P. M.; Freitas, M. C. J.; Pumar, M.; Santangelo, S.B. Efeito da farinha de semente de abóbora (*Curcubita maxima*, L) sobre o metabolismo glicídico e

- lipídico em ratos. *Revista de nutrição*, 2008; 21:129-136.
4. Bisognin, D. A. Origin and evolution of cultivated cucurbits. *Ciência Rural*, 2002;32:715–723.
 5. Filgueira, F. A. R.. *Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças*. 3. ed. Universidade Federal de Viçosa, 2007.
 6. Rodriguez-Amaya, D. B.; Kimura, M.; Godoy, H. T.; Amaya-Farfan, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: factors affecting carotenoid composition. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2008;21:445-463.
 7. Moura, M. C. C. L. Identificação de fontes de resistência ao Potyvírus ZYMV e diversidade genética e ecogeográfica em acessos de abóbora. [Doutorado]. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003.
 8. IBGE. *Produção Agrícola Municipal 2006: informações sobre culturas temporárias*. Rio de Janeiro: IBGE. [Acesso em: 29 dez. 2022]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3411>.
 9. Rezig, L., Chouaibi, M., Ojeda-Amador, R.M., GomezAlonso, S., Salvador, M.D., Fregapane, G. and Hamdi, S. Cucurbita maxima pumpkin seed oil: From the chemical properties to the different extracting techniques. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2018;46:663-669.
 10. Cuco, R.P., Cardozo-Filho, L. and da Silva C. Simultaneous extraction of seed oil and active compounds from peel of pumpkin (*Cucurbita maxima*) using pressurized carbon dioxide as solvent. *The Journal of Supercritical Fluids*, 2019;143:8– 15.
 11. Elfiky, S.A., Elelaimy, I.A., Hassan, A.M., Ibrahim, H.M. and Elsayad, R.I. Protective effect of pumpkin seed oil against genotoxicity induced by azathioprine. *The Journal of Basic and Applied Zoology*. 2012;65:289–298.
 12. Zuhair, H.A., Abd El-Fattah, A.A. and El-Sayed, M.I. Pumpkin-seed oil modulates the effect of feloipine and captopril in spontaneously hypersensitive rats. *Pharmacology Research*. 2000;41:555–563.
 13. Mangels AR, Holden JM, Beecher GR, Forman MR, Lanza E. Carotenoid contents of fruits and vegetables: an evaluation of analytical data. *J Am Diet Assoc*. 1993;93:284–96.
 14. Agarwal S, Rao AV. Carotenoids and chronic diseases. *Drug Metab Drug Interact* 2000;17:189–210.
 15. Carvalho, P.G.B.; Machado, C.M.M.; Moretti, C. L.; Fonseca, M. E. N. Hortaliças como alimentos funcionais. *Horticultura brasileira*. 2006;24:4.
 16. Rao, A.V.; Rao, L.G. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*. 2007;55:207-216.
 17. Durante, M.; Lenucci, M.S.; Mita, G. Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids from pumpkin (*Cucurbita* spp.): A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 2014;15:6725-6740.
 18. Hamzah, R.U.; Jigam, A.A.; Makun, H.A.; Egwim, E.C. Antioxidant properties of selected African vegetables, fruits and mushrooms: A review. *Mycotoxin and Food Safety in Developing Countries*, Intech, 2013;9:203-250
 19. Irazabal, M.V.; Torres, V.E. Reactive Oxygen Species and Redox Signaling in Chronic Kidney Disease. *Cells*. 2020;9:1342.
 20. Ardabili, A.G.; Farhoosh, R.; Khodaparast, M.H. Chemical composition and physicochemical properties of pumpkin seeds (*Cucurbita pepo* Subsp. *pepo* Var. *Styriaca*) grown in Iran. *Journal of Agriculture Science and Technology*,

- 2011:13:1053-1063.
21. Naziri, E.; Mitić, M.N.; Tsimidou, M.Z. Contribution of tocopherols and squalene to the oxidative stability of cold-pressed pumpkin seed oil (*Cucurbita pepo* L.). *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2016:118:6:898-905
 22. Cho, Y.H.; Lee, S.Y.; Jeong, D.W.; Choi, E.J.; Kim, Y.J.; Lee, J.G.; Yi, Y.H.; Cha, H.S. Effect of pumpkin seed oil on hair growth in men with androgenetic alopecia: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Evid.-based Complement. Alternative Medicine*, 2014.
 23. Vahlensieck, W.; Theurer, C.; Pfitzer, E.; Patz, B.; Banik, N.; Engelmann, U. Effects of pumpkin seed in men with lower urinary tract symptoms due to benign prostatic hyperplasia in the one-year, randomized, placebo-controlled GRANU study. *Urologia internationalis*, 2015:94:3:286-295.
 24. Colagar, A.H.; Souraki, O.A. Review of pumpkin anticancer effects. *Quran Medicine*, 2012:1:4:77-88.
 25. Marie-Magdeleine, C.; Mahieu, M.; Archimède, H. Pumpkin (*Cucurbita moschata Duchesne ex Poir.*) Seeds as an Anthelmintic Agent?. *Nuts and Seeds in Health and Disease Prevention*, Academic Press, 2011:933-939.
 26. Hammer, K.A.; Carson, C.F.; Riley, T.V. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of applied microbiology*, 1999:86:6:985-990
 27. Fahim, A.T.; Abd-El Fattah, A.A.; Agha, A.M.; Gad, M.Z. Effect of pumpkin-seed oil on the level of free radical scavengers induced during adjuvant-arthritis in rats. *Pharmacological research*, 1995:31:1:73-79
 28. Andjelkovic, M.; Van Camp, J.; Trawka, A.; Verhé, R. Phenolic compounds and some quality parameters of pumpkin seed oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 2010:112:12:208-217.
 29. Iswaldi, I.; Gómez-Caravaca, A.M.; Lozano-Sánchez, J.; Arráez-Román, D.; Segura-Carretero, A.; Fernández-Gutiérrez, A. Profiling of phenolic and other polar compounds in zucchini (*Cucurbita pepo* L.) by reverse-phase high-performance liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry. *Food Research International*, 2013:50:1:77-84.
 30. Xiang, J.; Apea-Bah, F.B.; Ndolo, V.U.; Katundu, M.C.; Beta, T. Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of finger millet varieties. *Food Chemistry*, 2019:275:361-368.
 31. Pham, T.T.; Tran, T.T.T.; Ton, N.M.N.; Le, V.V.M. Effects of pH and salt concentration on functional properties of pumpkin seed protein fractions. *Journal Food Processing and Preservation*, 2017:41:4:e13073
 32. Fawzy, E.I.; El Makawy, A.I.; El-Bamby, M.M.; Elhamalawy, H.O. Improved effect of pumpkin seed oil against the bisphenol-A adverse effects in male mice. *Toxicology Reportd*, 2018:5:857-863
 33. Devi, N.M., Prasad, R. V., Sagarika, N. A review on health benefits and nutritional composition of pumpkin seeds. *International Journal of Chemical Studies*, 2018:6:3:1154-1157.
 34. Amin, M. Z., Islam, T., Uddin, M.R., Uddin, M. J., Rahman, M. M., Satter, M. A. Comparative study on nutrient contents in the different parts of indigenous and hybrid varieties of pumpkin (*Cucurbita maxima* Linn.). *Heliyon*, 2019:5:9: e02462.
 35. Asiegbu J. E. Some biochemical evaluation of fluted pumpkin seed. *Food Science & Technology*, 1987:40:2:151-155.
 36. Yang, C., Wang, B., Wang, J., Xia, S., Wu, Y. Effect of pyrogalllic acid (1,2,3-

- benzenetriol) polyphenol-protein covalent conjugation reaction degree on structure and antioxidant properties of pumpkin (*Cucurbita* sp.) seed protein isolate. *LWT-Food Science and Technology*, 2019:109:443–9.
37. Rezig, L., Chibani, F., Chouaibi, M., Dalgarrondo, M.I., Hessini, K., Guéguen, J., Hamdi, S. Pumpkin (*Cucurbita maxima*) seed proteins: sequential extraction processing and fraction characterization. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2013:61:32:7715-7721.
 38. Bučko, S., Katona, J., Popović, L., Petrović, L., Milinković, L. Influence of enzymatic hydrolysis on solubility, interfacial and emulsifying properties of pumpkin (*Cucurbita pepo*) seed protein isolate. *Food Hydrocolloids*, 2016:60:271–278.
 39. Vaštag, Z.; Popović L.; Popović S. Bioactivity evaluation of cucurbitin derived enzymatic hydrolysates. *International journal of agricultural and biosystems engineering*, 2014:8:445–448.
 40. Vaštag, Ž., Popović, L., Popović, S., Krimer, V., Peričin, D. Production of enzymatic hydrolysates with antioxidant and angiotensin–I converting enzyme inhibitory activity from pumpkin oil cake protein isolate. *Food Chemistry*, 2011:124:4:1316-1321.
 41. Venuste, M., Zhang, X., Shoemaker, C.F., Karangwa, E., Abbas, S., Kamdem, P.E. Influence of enzymatic hydrolysis and enzyme type on the nutritional and antioxidant properties of pumpkin meal hydrolysates. *Food and Function*, 2013:4:5:811–820.
 42. Nourmohammadi, E., Mahoonak, A.S., Alami, M., Ghorbani, M. Amino acid composition and antioxidative properties of hydrolysed pumpkin (*Cucurbita pepo* L.) oil cake protein. *International Journal of Food Properties*. 2017:20:12:3244-3255.
 43. Karami, Z.; Akbari-adergani, B. Bioactive food derived peptides: a review on correlation between structure of bioactive peptides and their functional properties. *Journal of Food Science and Technology*, 2019:56:2:535–547.

ANTOCIANINAS COMO INGREDIENTE FUNCIONAL: APLICAÇÃO TECNOLÓGICA UTILIZANDO A MICROENCAPSULAÇÃO

Nataly de Almeida Costa *; Vanessa Caroline de Oliveira ; Nicole Marina Almeida Maia ; Maria José do Amaral e Paiva ; Daniele de Almeida Paula ; Daniele Juliana Rodrigues Gonçalves ; Érica Nascif Rufino Vieira 

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: natalyalmeida20@gmail.com

Resumo: As antocianinas, corantes naturais solúveis em água, são um composto bioativo pertencente à classe dos flavonoides que estão presentes na alimentação humana através do consumo de alimentos de origem vegetal e têm ganhado cada vez mais atenção devido às suas propriedades antioxidantes e inúmeros benefícios à saúde relacionados ao seu consumo são relatados na literatura. Neste contexto, esta revisão tem como objetivo evidenciar as propriedades das antocianinas como composto funcional, assim como a sua forma de aplicação e encapsulação. Como propriedades funcionais, as antocianinas exercem papel como antioxidantes e antimicrobianas. Apesar de muitas características benéficas das antocianinas, sua instabilidade inerente a alterações de pH, tipos de solvente, temperatura e outras condições ambientais torna a sua aplicação industrial limitada. Esses fatos levaram os pesquisadores a investigar novas formas de processamento afim de reduzir a degradação desse composto. A técnica de microencapsulação é uma possibilidade promissora para estabilizar extratos de antocianinas e permitir sua adição a produtos alimentícios de forma mais estável. Embora existam técnicas eficientes e emergentes, a microencapsulação de antocianinas ainda é um desafio para a indústria alimentícia. O objetivo deste trabalho é fornecer uma visão geral da estrutura das antocianinas, assim como sua absorção no organismo, fatores que afetam sua estabilidade e a alternativas de proteção como a microencapsulação.

Palavras-chave: bioacessibilidade; estabilidade; material de parede; pigmentos; secagem

Abstract: Anthocyanins, water-soluble natural dyes, are a bioactive compound belonging to the class of flavonoids that are present in human food through the consumption of plant-based foods and have gained increasing attention due to their antioxidant properties and numerous related health benefits. to its consumption are reported in the literature. In this context, this review aims to highlight the properties of anthocyanins as a functional compound, as well as its application and encapsulation form. As functional properties, anthocyanins play a role as antioxidants and antimicrobials. Despite many beneficial features of anthocyanins, their inherent instability to changes in pH, solvent types, temperature and other environmental conditions makes their industrial application limited. These facts led researchers to investigate new forms of processing in order to reduce the degradation of this compound. The microencapsulation technique is a promising possibility to stabilize anthocyanin extracts and allow their addition to food products in a more stable way. Although there are efficient and emerging techniques, the microencapsulation of anthocyanins is still a challenge for the food industry. The objective of this work is to provide

an overview of the structure of anthocyanins, as well as their absorption in the body, factors that affect their stability and protection alternatives such as microencapsulation.

Key Word: bioaccessibility; stability; wall material; pigments; drying

INTRODUÇÃO

A cor consiste em um dos atributos que mais influenciam na preferência do consumidor antes de adquirir determinado produto ou consumir um alimento específico. Este parâmetro afeta diretamente o julgamento, sendo utilizada como um dos principais indicadores de qualidade. A utilização de corantes é uma prática comum na indústria alimentícia, para conferir ou realçar a cor dos produtos, tornando-os mais atrativos ao consumidor. Os consumidores fazem uso da cor dos vegetais como uma sugestão para identificar o produto, avaliar a segurança, qualidade e amadurecimento e fazer inferências sobre suas propriedades sensoriais (1).

Com a mudança nos hábitos alimentares, os consumidores estão cada vez mais interessados em produtos com apelo à saúde, compostos por alimentos funcionais capazes de promover benefícios ao organismo. Assim, a aplicação de corantes naturais em produtos alimentícios tornou-se um forte apelo de marketing para as empresas do ramo (2). A cor natural dos alimentos é oriunda principalmente dos carotenóides, antocianinas, betaninas e clorofilas. As antocianinas são pigmentos naturais provenientes de frutas, vegetais e tubérculos com cores vermelhas e roxas e são capazes de melhorar o metabolismo de carboidratos e diminuir o fator de risco de distúrbios metabólicos (3).

No entanto, um dos grandes obstáculos para o uso industrial das antocianinas adicionada em matrizes alimentícias são os efeitos do processamento e o baixo rendimento de extração. Isso devido a estabilidade química desse composto, pois é altamente sensível à temperatura, pH, umidade, luz, íons metálicos, digestão enzimática e interações com copigmentos (4,5). Além das etapas de processamento, o sistema gastrointestinal também é um ponto crítico pois as antocianinas são absorvidas pelas células epiteliais do intestino delgado, processo dificultado devido às alterações de pH durante a passagem pelo sistema gastrointestinal. Assim, algumas alternativas são necessárias para preservar e reduzir a degradação das antocianinas durante as etapas de processamento e também garantir melhor viabilidade e capacidade antioxidante durante a digestão (6).

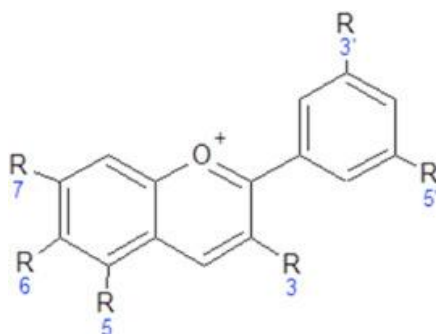
A técnica de microencapsulação é uma alternativa para manter a estabilidade das antocianinas. A encapsulação vem sendo muito utilizada para corantes naturais nos últimos anos, devido a capacidade de proporcionar maior estabilidade das antocianinas durante as etapas de processamento de alimentos devido à proteção por material de parede. Esses materiais são responsáveis por limitar a interação do núcleo contendo as antocianinas com o ar e outros constituintes dos alimentos. Essa técnica também minimiza os efeitos das altas temperaturas nos corantes, a redução da atividade de água (que reduz o crescimento microbiano e os custos de armazenamento e transporte) além de permitir o uso desses compostos em alimentos nos quais seriam incompatíveis devido ao pH ou condições de solubilidade (7,8).

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo evidenciar as características das antocianinas como corante natural, assim como todas as limitações para a aplicação industrial e a técnica de microencapsulação por *spray drying* como alternativa para aumentar a estabilidade do composto.

ANTOCIANINAS COMO CORANTE NATURAL

Os corantes naturais são compostos cromóforos produzidos por plantas, animais ou microrganismos. Essas substâncias possuem características muito diferentes, como cor, estabilidade e solubilidade (9,10). As antocianinas são corantes hidrossolúveis, pertencentes à classe dos flavonoides, responsáveis por uma variedade de cores atraentes de frutas, flores e folhas, variando do vermelho ao azul.

As antocianinas, um grupo flavonoides de compostos polifenólicos que se solubilizam em água, são geralmente compostas por duas ou três frações: uma estrutura básica não glicosilada denominada antocianidina, constituída por uma aglicona, que possui o núcleo principal da molécula e é constituída por três anéis com ligações duplas conjugadas, que representa o constituinte cromóforo (Figura 1); uma ou mais moléculas de açúcar; e muitas vezes uma ou mais moléculas formadas entre um ácido e uma molécula de açúcar (11).



Fonte: Ribeiro & Veloso (11).

Figura 1. Estrutura básica de uma antocianidina, o constituinte cromóforo das antocianinas (os radicais R são geralmente substituídos por grupos OH, H, OCH₃, dando origem a várias antocinidinas).

Além disso, é um pigmento potencialmente adequado para ser utilizado para alimentos e cosméticos, e isso se deve a não toxicidade do composto. Além disso, diversas pesquisas sobre antocianinas são estudadas por seus benefícios para a saúde, dentre eles incluem a capacidade antioxidante, prevenção de doenças como câncer, controle do colesterol, glicemia e regulação do peso corporal, neuroproteção, proteção da retina e anti-envelhecimento (12).

Os alimentos de origem vegetal ricos em antocianinas têm relevância farmacológica e aplicação terapêutica devido às suas propriedades antioxidantes (13). Além disso, estudos recentes observaram a relação entre a ingestão alimentar de antocianinas, a proteção contra doenças neurológicas e o controle do declínio das funções cerebrais e cognitivas relacionadas à idade (14), redução do risco de doenças cardíacas; melhora da visão e das funções cerebrais, e exercem um papel anti-inflamatório relacionado a doenças crônicas, como obesidade e diabetes pela modulação da microbiota, sendo que os agentes anti-inflamatórios também podem atuar como agentes anticancerígenos (15).

ESTABILIDADE DAS ANTOCIANINAS

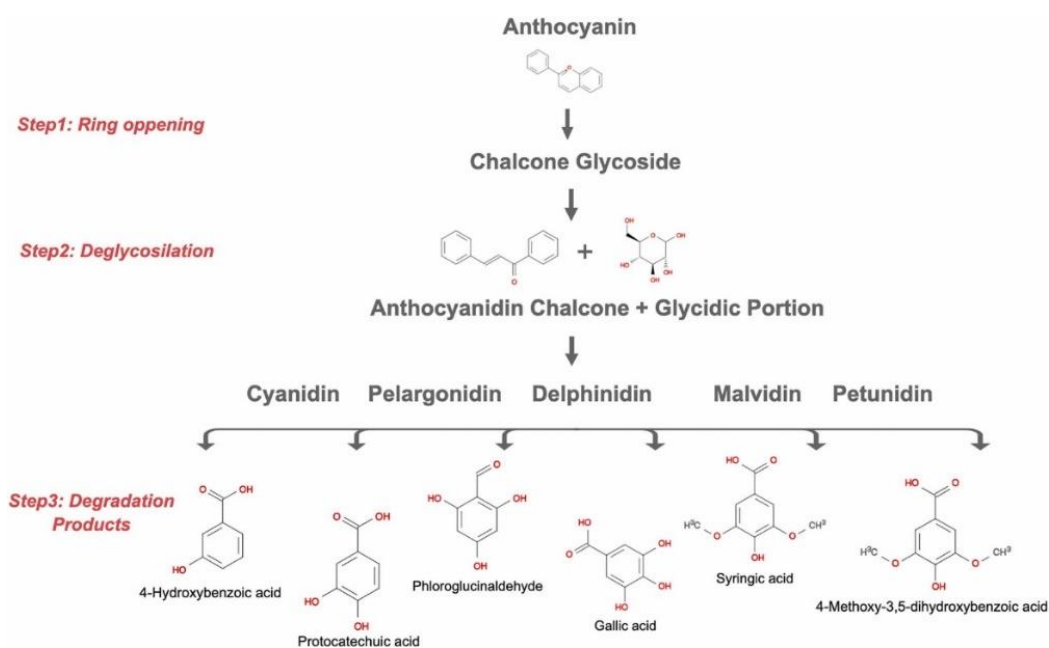
As antocianinas possuem funções nutricionais e fisiológicas, como fortes antioxidantes. No entanto, a biodisponibilidade e o potencial comercial das antocianinas são amplamente limitados devido à estrutura instável, o que os torna altamente sensíveis à degradação bioquímica e química (16). Em geral, a antocianina é um dos pigmentos naturais mais instáveis quando comparada com os carotenoides e as clorofilas. Essa instabilidade é frequentemente definida quantitativamente com relação aos índices como a constante da taxa

de degradação (K), constante de taxa de mudança de cor (K_c), taxa de retenção de antocianina (R_c), energia de ativação (E_a) e parâmetros uniformes do espaço de cores CIELAB (a^* , b^* , L^* , C^* , H e ΔE) (17).

Dentre os fatores que afetam a estabilidade das antocianinas a temperatura é considerada um dos mais influentes na estabilidade dos pigmentos. O efeito da temperatura na concentração de antocianina em alimentos tem sido explorado sob diferentes pontos de vista; durante o processamento, armazenamento, maturação e outros. Em geral, uma diminuição desse composto foi observada com mais frequência quando tem contato com a alta temperatura (18).

Os pigmentos de antocianina são sensíveis ao aquecimento do processamento de alimentos. No processamento de alimentos, as antocianinas diminuem devido ao tratamento de alta temperatura, conforme relatado durante a secagem ao ar de fatias de morango, a diminuição da antocianina também foi observada nas temperaturas de 60°C (19) e 50°C (20). A temperatura de secagem e as condições do processo são fatores determinantes para preservar o teor total de antocianinas (18).

O processo de degradação das antocianinas é endotérmico e é significativamente afetado pela temperatura. À medida que a temperatura aumenta, a taxa de degradação das antocianinas aumenta, acompanhada por uma diminuição acentuada do valor da meia-vida (17). O mecanismo de degradação das antocianinas quando submetida a ação térmica foi resumida na Figura 2.



Fonte: Produzida por Rosales et al. (3).

Figura 2. As principais etapas de degradação das antocianinas e a formação de diferentes produtos.

Inicialmente, ocorre o rompimento do anel aromático presente na estrutura, em seguida ocorre a desglicosilação e, conseqüentemente, geração de produtos como cianidina (ácido 4-hidroxibenzoico, ácido protocatecúico); pelargonidina (ácido protocatecúico, floroglucinaldeído); delphinidina (floroglucinaldeído, ácido gálico); malvidina (floroglucinaldeído, ácido síringico) e petunidina (floroglucinaldeído, ácido 4-Metoxi-3,5-dihidroxibenzoico) (21).

Dessa forma, certos tipos de variações na estrutura molecular das antocianinas resultam em mudanças em suas cores características (22). Tais variações na cor das antocianinas podem ser afetadas também por alterações do pH do meio, como descrito na Figura 3. O mecanismo básico de mudança de cor das antocianinas pode ser atribuído ao aumento da concentração de aminas voláteis produzidas por bactérias deteriorantes e níveis de pH crescentes resultantes que subsequentemente induzem uma mudança de cor distinguível (23).

Source of anthocyanins	pH ~2	pH ~3	pH ~4	pH ~5	pH ~6	pH ~7	pH ~8	pH ~9	pH ~10	pH ~11	pH ~12
Rose (<i>Rosa rugosa</i>)	Red	Red	Purple	Purple	Grey	Blue	Blue	Dark Blue	Dark Blue	Green	Green
Iranian borage (<i>Echium amoenum</i>)	Red	Red	Red	Red	Red	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown
Jambolan (<i>Syzygium cumini</i>)	Red	Brown	Brown	Brown	Brown	Grey	Green	Green	Green	Green	Yellow
Purple sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i>)	Pink	Pink	Pink	Pink	Pink	Grey	Green	Green	Green	Green	Yellow
Manchurian cherry (<i>Prunus maackii</i>)	Red	Pink	Pink	Pink	Pink	Grey	Grey	Grey	Brown	Brown	Brown
Red cabbage (<i>Brassica oleracea</i> var. capitata f. rubra)	Red	Red	Purple	Purple	Purple	Purple	Purple	Dark Blue	Dark Blue	Green	Green
Saffron petal (<i>Crocus sativus</i>)	Red	Pink	Pink	Grey	Grey	Grey	Dark Blue	Dark Blue	Brown	Brown	Yellow
Barberry (<i>Berberis vulgaris</i>)	Red	Red	Red	Red	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown
Mulberry (<i>Morus nigra</i>)	Pink	Pink	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Roselle (<i>Hibiscus sabdariffa</i> L.)	Red	Red	Red	Red	Purple	Purple	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue	Dark Blue
<i>Centaurea arvensis</i>	Red	Red	Red	Red	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown	Brown

Fonte: Produzida por Oladzadabbasabadi et al. (24).

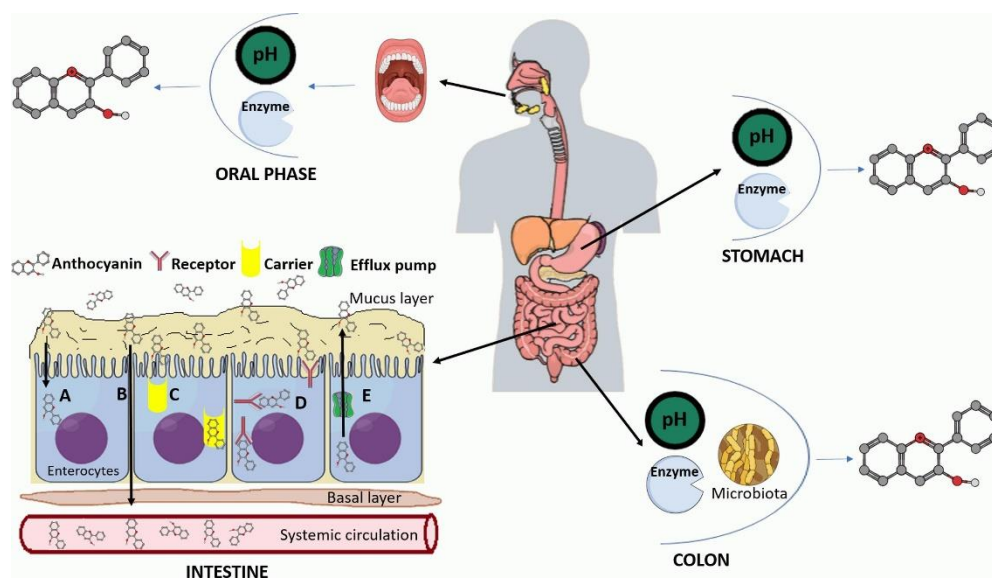
Figura 3. As variações de cor das antocianinas obtidas de diferentes fontes em uma grande escala de pH de 2 a 12.

Outro fator que influencia diretamente na estabilidade das antocianinas é a presença de luz sofrendo sérias descolorações quando são armazenados em um ambiente sem proteção. Este fato revela a sensibilidade das antocianinas à luz e a degradação ou a fotodegradação induzida pela luz. Assim, a taxa de degradação das antocianinas depende solidamente da fonte de luz, intensidade e tempo de irradiação (17).

No entanto, a principal questão é o ambiente desfavorável presente no trato gastrointestinal, por exemplo, a ampla faixa e flutuação do pH, a presença de várias enzimas e barreiras mucosas que faz com que as antocianinas apresentem bioacessibilidade, permeabilidade de membrana e biodisponibilidade ainda menores. A biodisponibilidade de um determinado composto consiste na estabilidade digestiva, liberação e eficiência de sua passagem transepitelial, e pode ser definida como a quantidade desse composto que é digerido, absorvido e metabolizado pelo organismo (25,13). Dessa forma, não apenas as propriedades físico-químicas são influenciadas e determinadas pelas estruturas químicas das antocianinas, mas também afetam suas propriedades biológicas.

Logo, os efeitos biológicos das antocianinas dependem de diversos obstáculos presentes durante o processo digestivo demonstrados na Figura 4. Nessa representação esquemática, observa-se a degradação e a absorção de antocianinas em diferentes regiões do

trato gastrointestinal humano. Na fase oral (boca) encontra-se um pH em torno de 7,4 e a presença de amilases salivares. Posteriormente, no estômago com pH ácido em torno de 1 a 3 e a presença de pepsina, protease, lipase e amilase. No intestino ocorre uma elevação do pH para em torno de 6 a 7. Por fim, o cólon com pH entre 7 e 8. Essas variações de pH influenciam diretamente na estabilidade do composto e, conseqüentemente, em sua atividade biológica e funcional no organismo.



Fonte: Tarone et al. (13).

Figura 4. Processo de degradação das antocianinas durante a passagem pelo sistema gastrointestinal.

As antocianinas podem sofrer quatro mecanismos de transporte na camada celular, incluindo (A) difusão passiva: difusão transcelular, (B) difusão passiva: difusão paracelular, (C) transporte mediado por carreadores, (D) transporte mediado por receptores e (E) mecanismo de bomba de fluxo (13).

Dessa forma, quando comparada a quantidade desse composto que é consumida e a quantidade absorvida é mínima, resultando em uma biodisponibilidade muito baixa de aproximadamente 1% da dose inicial é encontrada no plasma humano (13). Esses fatores podem limitar o uso de antocianinas devido à sua alta instabilidade e fácil suscetibilidade à degradação quando expostas a elas. Com isso, vários trabalhos visam proteger as antocianinas e encontrar as condições ideais para manter a maior viabilidade e capacidade antioxidante durante a digestão.

MICROENCAPSULAÇÃO DE ANTOCIANINAS

A microencapsulação pode aumentar a estabilidade e a bioacessibilidade das antocianinas porque aprisiona as antocianinas (materiais do núcleo) nos materiais de revestimento (materiais da parede) e evita que as antocianinas experimentem diretamente os ambientes adversos (26). A microencapsulação por *spray drying* é especialmente adequada para a microencapsulação de antocianinas devido às baixas perdas de qualidade, alta eficiência, baixo custo e fácil industrialização (13). Na microencapsulação por secagem por pulverização, a seleção de um material de parede adequado é a etapa crucial porque o material da parede pode afetar o rendimento da produção, morfologia, estabilidade, bem como a retenção e atividades associadas.

O encapsulamento tem finalidade revestir e proteger compostos sólidos, líquidos ou gasosos (27). A microencapsulação consiste em um processo no qual partículas sensíveis são envolvidas por um material de revestimento resistente capaz de formar uma barreira e proteger o ingrediente de interesse. Essa técnica vem sendo cada vez mais estudada na ciência de alimentos com o objetivo de aumentar a estabilidade e controlar a liberação de aromas, corantes, antioxidantes, nutrientes, enzimas, conservantes e microrganismos. As microesferas obtidas através do processo de microencapsulação podem variar o tamanho de um micrômetro a vários milímetros e seu formato varia entre microcápsulas, microesferas ou micropartículas. Essas características dependem da técnica de microencapsulação utilizada.

Sakulnarmrat et al. (28) desenvolveram uma técnica de microencapsulação por meio de um método de secagem em tambor que utilizou uma mistura de goma arábica (AG) e maltodextrina dextrose (MD) equivalente para proteger a entrega de extrato rico em antocianina de repolho roxo. A eficiência de encapsulamento mudou na faixa de 93,65–98,85% e AG:MD com uma proporção de 80:20 ofereceu a maior eficiência de encapsulamento. Todos os encapsulados contendo antocianinas tiveram solubilidades acima de 90%, enquanto as atividades de água (0,313-0,361) e os teores de umidade foram baixos (3,40-4,66%). Além disso, quando a proporção AG:MD de 80:20 foi usada na parede do encapsulamento, o maior teor de antocianina foi de 42,26 mg/100g de amostra foi alcançado. Com relação à estrutura dos encapsulados, a difração de raios-X (XRD) ilustrou padrões de difração relacionados às fases mistas cristalina e amorfa. Com o aumento da dopagem de AG no encapsulamento, a porcentagem da fase cristalina aumentou. A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) mostrou partículas lisas com leve aglomeração quando a proporção AG:MD 80:20 foi usada para encapsular o extrato rico em antocianina de repolho roxo. Com base nos achados das características morfológicas e físico-químicas, os autores concluíram que o uso de AG:MD 80:20 como parede de encapsulamento poderia proteger melhor as antocianinas da degradação.

A estabilidade térmica das antocianinas extraídas da chicória vermelha e depois encapsulado em grânulos de hidrogel de amido teve sua capacidade antioxidante melhorada ($\approx 55\%$) e sua estabilidade térmica foi mantida mesmo armazenado a 65 °C por 12 dias (29).

A microencapsulação por *spray drying* é especialmente adequada para a microencapsulação de antocianinas devido às baixas perdas de qualidade, alta eficiência, baixo custo e fácil industrialização (13). Na microencapsulação por secagem por pulverização, a seleção de um material de parede adequado é a etapa crucial porque o material da parede pode afetar o rendimento da produção, morfologia, estabilidades, bem como a retenção e atividades associadas.

Dentre os métodos de encapsulamento, a secagem por pulverização é amplamente utilizada na indústria por ser de baixo custo, fácil operação e pode ser realizada em escala industrial (30). Diferentes tipos de materiais de parede têm sido usados para microencapsulação, e a maltodextrina têm sido comumente usados como material de parede por sua alta solubilidade em água, baixa viscosidade, baixo teor de açúcar e suas soluções são incolores. Além disso, a goma arábica é um polissacarídeo eficaz para produzir emulsões estáveis e pode ser uma boa escolha como material de parede, especialmente no processo de secagem por pulverização (31).

Rosales-Chimal et al., (3) avaliaram condições ótimas para microencapsulação de extrato de antocianina utilizando como material de parede o amido de taro para aumentar a retenção de compostos ativos, o rendimento de secagem, atividade antioxidante, estabilidade e bioacessibilidade. A técnica de microencapsulação utilizada foi o *spray drying*, e o processo foi otimizado usando o método de superfície de resposta, aplicando a concentração

de amido e a temperatura do ar de entrada como parâmetros independentes. As microcápsulas obtidas apresentaram rendimento de secagem de 70,1%, o teor de compostos fenólicos foi de 797,8 mg GAE/g e antocianinas 469,4 mg CE3G/g. Os percentuais de retenção mostraram valores de 60% em compostos bioativos até quatro semanas de armazenamento em condições de armazenamento acelerado. A bioacessibilidade do extrato microencapsulado foi 10% maior do que a observada no extrato sem encapsulamento durante a digestão gastrointestinal. Os resultados deste estudo mostram que o extrato microencapsulado com amido de taro foi capaz de proteger efetivamente durante a digestão e, assim, garantir a estabilidade do composto bioativo durante o armazenamento.

Machado et al. (32), avaliaram a microencapsulação por *spray drying* de extrato rico em antocianina extraída de repolho roxo para produção de corante natural. Neste estudo, extrato rico em antocianina de repolho roxo (*Brassica oleracea* L. var. *capitata* L. f. *rubra*) foi microencapsulado utilizando como material de parede diferentes concentrações de maltodextrina e goma arábica. Os resultados obtidos demonstraram que os extratos e as micropartículas apresentaram alto teor de antocianinas. O rendimento de micropartículas foi superior a 40%, sugerindo uma alta eficiência de encapsulamento. Além disso, as propriedades físico-químicas satisfatórias foram obtidas para utilizando maltodextrina e goma arábica combinadas na proporção de 25:25. A interação entre os polímeros utilizados na secagem por pulverização foi benéfica, pois a interação entre maltodextrina e goma arábica conferiu às micropartículas melhor estabilidade térmica.

CONCLUSÕES

De acordo com os estudos apresentados, nota-se a importante relevância dos compostos bioativos como as antocianinas para a alimentação humana. Além de proporcionar a coloração aos alimentos, as antocianinas também são capazes de promover benefícios à saúde do consumidor. Entretanto, alternativas como a técnica de microencapsulação são fundamentais para promover a estabilidade do composto durante as etapas de adição na matriz alimentar, processamento ou armazenamento e também durante a passagem pelo sistema gastrointestinal até a sua absorção. Diferentes estudos vêm sendo realizados com objetivo de melhorar a estabilidade desses pigmentos em condições adversas e assim disponibilizar no mercado um corante natural proveniente de vegetais e com inúmeras capacidades funcionais.

REFERÊNCIAS

1. Schifferstein HN, Wehrle T, Carbon CC. Consumer expectations for vegetables with typical and atypical colors: The case of carrots. *Food Quality and Preference*. 2019;72:98-108.
2. Barros FAR, Stringueta PC. Microencapsulamento de antocianinas: uma alternativa para o aumento de sua aplicabilidade como ingrediente alimentício. *Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento*. 2006;36:273-279.
3. Rosales-Chimal S, Navarro-Cortez RO, Bello-Perez LA, Vargas-Torres A, Palma-Rodríguez HM. Optimal conditions for anthocyanin extract microencapsulation in taro starch: Physicochemical characterization and bioaccessibility in gastrointestinal conditions. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022.

4. Fredes C, Becerra C, Parada J, Robert P. The microencapsulation of maqui (*Aristotelia chilensis* (Mol.) Stuntz) juice by spray-drying and freeze-drying produces powders with similar anthocyanin stability and bioaccessibility. *Molecules*.2018; 23;1227.
5. Jokioja J, Yang B, Linderborg KM. Acylated anthocyanins: A review on their bioavailability and effects on postprandial carbohydrate metabolism and inflammation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*.2021; 20:5570-5615.
6. Vinson, J. A. Intracellular polyphenols: how little we know. *Journal of agricultural and food chemistry*.2019; 67:3865-3870.
7. Jafari, SM (Ed.). *Nanoencapsulation of food bioactive ingredients: principles and applications*. Academic Press; 2017.
8. Rodriguez-Amaya DB. Natural food pigments and colorants. In *Bioactive molecules in food*.2019:867-901.
9. Damodaran S, Parkin KL. *Química de alimentos de Fennema*. Artmed editora, 2018.
10. Rodriguez-Amaya DB. Natural food pigments and colorants. *Current Opinion in Food Science*.2016;7:20-26.
11. Ribeiro JS, Veloso CM. Microencapsulation of natural dyes with biopolymers for application in food: A review. *Food Hydrocolloids*.2021;112:106374.
12. Zhu F. Anthocyanins in cereals: Composition and health effects. *Food Research International*.2018;109:232-249.
13. Tarone AG, Cazarin CBB, Junior MRM. Anthocyanins: New techniques and challenges in microencapsulation. *Food research international*.2020;133:109092.
14. Subash S, Essa MM, Al-Adawi S, Memon MA, Manivasagam T, Akbar M. Neuroprotective effects of berry fruits on neurodegenerative diseases. *Neural regeneration research*.2014;9:16:1557.
15. Mattioli R, Francioso A, Mosca L, Silva P. Anthocyanins: A comprehensive review of their chemical properties and health effects on cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Molecules*.2020;25:17:3809.
16. Vidana Gamage GC, Lim YY, Choo WS. Sources and relative stabilities of acylated and nonacylated anthocyanins in beverage systems. *Journal of Food Science and Technology*.2022;59:831-845.
17. Huang Y, Zhou S, Zhao G, Ye F. Destabilisation and stabilisation of anthocyanins in purple-fleshed sweet potatoes: A review. *Trends in Food Science & Technology*.2021;116:1141-1154.

18. Peñaloza S, Delesma C, Muñiz J, López-Ortiz A. The anthocyanin's role on the food metabolic pathways, color and drying processes: An experimental and theoretical approach. *Food Bioscience*.2022;101700.
19. López-Ortiz A, Méndez-Lagunas LL, Delesma C, Longoria A, Escobar J, Muñiz J. Understanding the drying kinetics of phenolic compounds in strawberries: An experimental and density functional theory study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*.2020;60:102283.
20. Méndez-Lagunas L, Rodríguez-Ramírez J, Cruz-Gracida M, Sandoval-Torres S, Barriada-Bernal G. Convective drying kinetics of strawberry (*Fragaria ananassa*): Effects on antioxidant activity, anthocyanins and total phenolic content. *Food chemistry*.2017;230:174-181.
21. Oancea S. A review of the current knowledge of thermal stability of anthocyanins and approaches to their stabilization to heat. *Antioxidants*.2021;10;9:1337.
22. Yan J, Cui R, Qin Y, Li L, Yuan M. A pH indicator film based on chitosan and butterfly pudding extract for monitoring fish freshness. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021;177:328-336.
23. Chen, HZ, Zhang M, Bhandari B, Yang CH. Novel pH-sensitive films containing curcumin and anthocyanins to monitor fish freshness. *Food Hydrocolloids*.2020;100:105438.
24. Oladzadabbasabadi N, Nafchi AM, Ghasemlou M, Ariffin F, Singh Z, Al-Hassan AA. Natural anthocyanins: Sources, extraction, characterization, and suitability for smart packaging. *Food Packaging and Shelf Life*.2022;33:100872.
25. Tagliazucchi D, Verzelloni E, Bertolini D, Conte A. In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols. *Food Chemistry*. 2010;120:599-606.
26. Cai D, Li X, Chen J, Jiang X, Ma X, Sun J, Tian L, Vidyarthi SK, Xu J, Pan Z, Bai W. A comprehensive review on innovative and advanced stabilization approaches of anthocyanin by modifying structure and controlling environmental factors. *Food Chemistry*.2022;366:130611.
27. Verma ML, Dhanya BS, Rani V, Thakur M, Jeslin J, Kushwaha R. Carbohydrate and protein based biopolymeric nanoparticles: Current status and biotechnological applications. *International journal of biological macromolecules*.2020;154:390-412.
28. Sakulnarmrat K, Wongsrikaew D, Konczak I. Microencapsulation of red cabbage anthocyanin-rich extract by drum drying technique. *LWT*.2021;137:110473.
29. Zanoni F, Primiterra M, Angeli N, Zoccatelli G. Microencapsulation by spray-drying of polyphenols extracted from red chicory and red cabbage: Effects on stability and color properties. *Food chemistry*.202;307:125535.

30. Jafari SM, Arpagaus C, Cerqueira MA, Samborska K. Nano spray drying of food ingredients; materials, processing and applications. Trends in Food Science & Technology.2021;109:632-646.
31. Mahdavi SA, Jafari SM, Assadpoor E, Dehnad D. Microencapsulation optimization of natural anthocyanins with maltodextrin, gum Arabic and gelatin. International journal of biological macromolecules. 2016;85:379-385.
32. Machado, MH, Almeida AR, Maciel MVDOB, Vitorino VB, Bazzo GC, Da Rosa CG, Sganzerla WG, Mendes C, Barreto PLM. Microencapsulation by spray drying of red cabbage anthocyanin-rich extract for the production of a natural food colorant. Biocatalysis and Agricultural Biotechnology.2022; 39:102287.

A IMPOTÊNCIA DA UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE MICROENCAPSULAÇÃO PARA ÓLEOS ESSENCIAIS: UMA REVISÃO

Kely de Paula Correa^{ID}*; Danielle Cristine Mota Ferreira;^{ID}**Wilson de Almeida Orlando Júnior^{ID}**; Ana Flávia Coelho Pacheco^{ID}**; Paulo Henrique Costa Paiva^{ID} Flaviana Coelho Pacheco^{ID}***

*Autor correspondente (Corresponding author) – Email: kely.correa@epamig.br

** Professores/pesquisadores da Empresa de Pecuária e Abastecimento de Minas Gerais

***Mestranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa

Resumo: Os óleos essenciais são metabólitos secundários de plantas, que possuem baixa toxicidade, atividades antioxidante e antimicrobiana. Contudo, possuem baixa solubilidade em água, instabilidade a altas temperaturas e a algumas variações de pH, além de altas taxas de volatilização, por isso uma alternativa é a microencapsulação. A microencapsulação é uma ferramenta de grande importância para a indústria química, cosmética/farmacêutica, agrária e alimentícia. Através dessas técnicas juntamente com a matriz encapsulante ocorre a proteção e liberação controlada de diversos princípios ativos dos óleos essenciais. Assim, essa revisão teve como objetivo apresentar uma visão geral sobre a importância das principais técnicas de microencapsulação de óleos essenciais, ressaltando as mais utilizadas. De acordo com a literatura existem diferentes técnicas de microencapsulação físicas (dentre as principais, *spray dryer*, liofilização, fluidização, extrusão) e químicas (dentre as principais, coacervação, gelatinização iônica e lipossomas). Cada técnica possui uma especialidade e de acordo com o material que se deseja encapsular existe uma técnica mais indicada. Além disso, pode haver combinação de técnicas. Dentre as técnicas, a mais encontrada foi a microencapsulação obtida por *spray dryer*. Vale ressaltar que cada substância tem suas particularidades que devem ser estudadas. Conclui-se que a microencapsulação preservou a atividade dos óleos essenciais em todos os estudos apresentados independente da técnica empregada.

Palavras-chave: antioxidante, antimicrobiano, biocida, *spray dryer*

Abstract: Essential oils are secondary metabolites of plants, which have low toxicity, antioxidant and antimicrobial activities. However, they have low solubility in water, instability at high temperatures and some pH variations, in addition to high volatilization rates, so an alternative is microencapsulation. Microencapsulation is a very important tool for the chemical, cosmetic/pharmaceutical, agricultural and food industries. Through these techniques, together with the encapsulating matrix, there is protection and controlled release of several active principles of essential oils. Thus, this review aimed to present an overview of the importance of the main techniques of microencapsulation of essential oils, highlighting the most used ones. According to the literature, there are different physical microencapsulation techniques (among the main ones, spray drying, lyophilization, fluidization, extrusion) and chemical ones (among the main ones, coacervation, ionic

gelatinization and liposomes). Each technique has a specialty and according to the material to be encapsulated there is a more suitable technique. In addition, there may be a combination of techniques. Among the techniques, the most common was microencapsulation obtained by spray drying. It is noteworthy that each substance has its particularities that must be studied. It is concluded that microencapsulation preserved the activity of essential oils in all studies presented, regardless of the technique used.

Keywords: antioxidant, antimicrobial, biocide, spray dryer

1. INTRODUÇÃO

Quimicamente, óleos essenciais (OEs) podem ser definidos como misturas compostas de constituintes químicos voláteis obtidos do citoplasma de certas secreções de células vegetais, que se encontram em um ou mais órgãos da planta, tais como pêlos secretores ou tracoma, células epidérmicas, células secretoras internas e bolsas secretoras. Tecnicamente, os óleos essenciais voláteis são formados por dois grupos principais de compostos químicos voláteis, como os terpenóides (monoterpeno, diterpeno, politerpeno) e outras substâncias aromáticas (aldeído, álcoois, fenóis e derivados metoxilados).

Os óleos essenciais (OEs) são considerados compostos altamente valiosos devido ao baixo rendimento de extração, cujo preparo pode incluir destilação (incluindo destilação a vapor e destilação passo a passo), prensagem e outros métodos físicos, e os cientistas também podem obter os óleos essenciais alvo por síntese química (1,2). Grande esforço tem sido feito em sua implementação como aditivo alimentar devido às suas pronunciadas atividades antioxidante (3–5), antimicrobiana (6), pesticida e terapêuticas.

Apesar de todos os benefícios listados, os OEs apresentam diversas limitações de aplicação quando utilizados em sua forma livre tais como sensibilidade à luz, baixa estabilidade, baixa solubilidade em água, alta volatilidade, alta degradabilidade e baixa biodisponibilidade (7).

Uma das técnicas que visa minimizar esses desafios e garantir a preservação e proteção de moléculas de OE livres das condições ambientais externas bem como ampliar sua aplicabilidade é a encapsulação. Diversos estudos indicam que diferentes sistemas de carregamento/encapsulação de OEs são capazes de reduzir ou eliminar microorganismos (8,9), reduzir a viabilidade de esporos (10,11), inibir o crescimento de fungos e a formação de micotoxinas (12). Além de protegerem o material encapsulado, os sistemas de carregamento promovem a liberação controlada do mesmo, ou seja, a liberação de OE ocorre de maneira gradual e contínua em diferentes tempos e locais (13).

A produção de estruturas carreadoras deve ocorrer de maneira padronizada, de modo a promover estruturas contendo OE com diâmetro entre 1 μm a 1000 μm e estrutura típica de núcleo-casca. A composição do material encapsulante irá depender da técnica utilizada, porém dentre os mais comuns pode-se citar a celulose, quitosana e ciclodextrina (14).

Existem vários métodos utilizados para a preparação de sistemas de carregamento de OE como precipitação (15), emulsão-difusão, dupla emulsificação (16), emulsão-coacervação (17–19), spray drying (20) e o uso de nanopartículas lipídicas sólidas (18,19). A escolha da técnica mais adequada para carregamento depende de fatores como o tamanho desejado da cápsula, propriedades físicas dos materiais da parede, solubilidade do material do núcleo, liberação controlada, permeabilidade ideal da camada, além dos custos do processo (21). Assim, o objetivo deste trabalho foi apresentar uma visão geral sobre a

importância das principais técnicas de microencapsulação de óleos essenciais, ressaltando as mais utilizadas.

2. ÓLEOS ESSENCIAIS

Os óleos essenciais são líquidos voláteis, com aroma intrínseco característico constituídos por diferentes componentes ativos principais podendo ser encontrados em concentrações relativamente altas (entre 20 e 70%) ou quantidades vestigiais em tecidos vegetais (22).

A composição química e a quantidade de OEs dependem dentre outros fatores, do período de colheita, clima, tipo de solo, planta e técnica de extração, porém, de maneira geral, os compostos ativos presentes podem ser classificados em compostos terpênicos com seus derivados oxidativos terpenóides ou em fenilpropanóides juntamente com seus derivados aromáticos (Figura 1) (7)

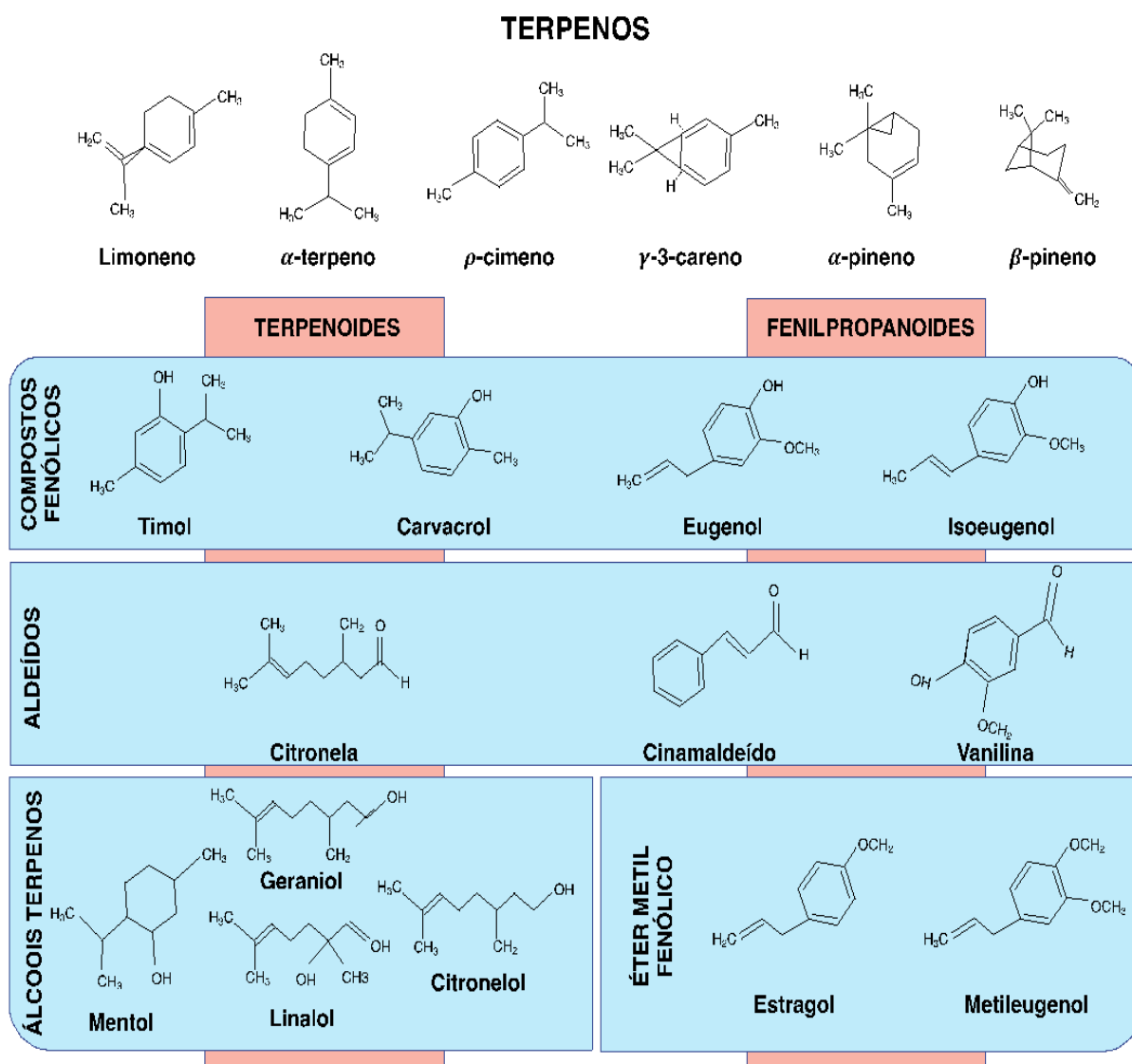


Figura 1. Estrutura química de alguns dos componentes ativos mais comuns dos óleos essenciais.
 Fonte: Adaptado de Yammine et al., 2022.

3. MICROENCAPSULAÇÃO

Microcápsulas são definidas como partículas com dimensões entre 1 e 1000 μm , contendo um agente ativo revestido por um envoltório polimérico. Várias técnicas podem ser usadas para obter sistemas encapsulados, e a maioria delas usa uma emulsão como base para o encapsulamento. Os métodos convencionais para produção de emulsões incluem agitação, ultrassom, alto cisalhamento e homogeneização de alta pressão. No entanto, tais métodos apresentam limitações quanto ao controle do tamanho médio das gotas e consumo de energia (21).

Dentre os benefícios das técnicas de carreamento de compostos bioativos, tais como os óleos essenciais, estão o retardamento da transferência de compostos voláteis para o ambiente externo, aumentando a vida útil, mascarando sabores e odores e ainda promovendo a liberação controlada e direcionada dos ingredientes ativos (1).

De maneira geral, as técnicas de encapsulamento permitem a formação de uma parede ao redor do núcleo por onde os componentes serão mantidos dentro ou agregados ao envoltório da cápsula evitando qualquer liberação ou degradação do conteúdo para serem aplicados na matriz alimentícia/farmacêutica e liberados (2). A seguir são descritas as principais técnicas de encapsulação usadas para óleos essenciais.

3.1. TÉCNICAS DE ENCAPSULAÇÃO

3.1.1 MÉTODOS FÍSICOS

(i) Extrusão

O encapsulamento por extrusão é uma técnica comumente aplicada nas indústrias farmacêutica e cosmética (23). Nela a emulsão é forçada a passar pelo bocal de extrusão do equipamento, em direção a um líquido desidratante que solidifica os envoltórios resultando na transformação das gotículas em cápsulas. A extrusão tem como a ausência do uso de solventes e de temperaturas extremas, porém a velocidade do processo de produção é baixa (24).

(ii) Fluidização

No encapsulamento por fluidização ou leito fluidizado um revestimento é aplicado em partículas de pó que são suspensas a uma temperatura precisa usando fluxo de ar e pulverizadas com um material de revestimento (25).

O processo de revestimento em leito fluidizado compreende três etapas básicas: (i) fluidização das partículas de pó a serem revestidas na câmara de revestimento com o auxílio de uma corrente de ar, (ii) pulverização de um material de revestimento através de um bico sobre as partículas e (iii) evaporação do solvente do material de revestimento por ar quente e, conseqüentemente, aderência do material de revestimento às partículas (26,27).

(iii) Liofilização

A liofilização caracteriza-se como um processo de várias etapas incluindo congelamento, sublimação (secagem primária), dessorção (secagem secundária) e armazenamento, resultando em um produto seco. No caso de OEs é necessária ainda uma primeira etapa de preparo e homogeneização das emulsões (27).

(iv) *Spray dryer*

A microencapsulação por secagem por pulverização, ou *spray dryer*, é o processo mais antigo e mais comum usado para microencapsulação na indústria de alimentos. Possui baixo custo de produção, produção em larga escala de modo contínuo, variedade de matrizes de encapsulamento e retenção e estabilidade adequadas de compostos voláteis (28).

De maneira geral a técnica *spray dryer* consiste na atomização de uma emulsão em um meio de secagem a uma temperatura relativamente alta, o que permite a rápida evaporação da água e o encapsulamento quase instantâneo do material do núcleo (Figura 2). Durante esse processo, formam-se cápsulas multinucleadas nas quais o óleo essencial é distribuído tanto no interior quanto na superfície da microcápsula, podendo ocorrer perda de substâncias voláteis. Esta perda pode ocorrer durante o processo em três estágios: durante a atomização, após a formação da gota na superfície quando não se formou uma membrana estável, e onde a água dentro da gota excede o ponto de ebulição e as bolhas formadas dentro da gota estouram, rachando a superfície e liberando voláteis (29).

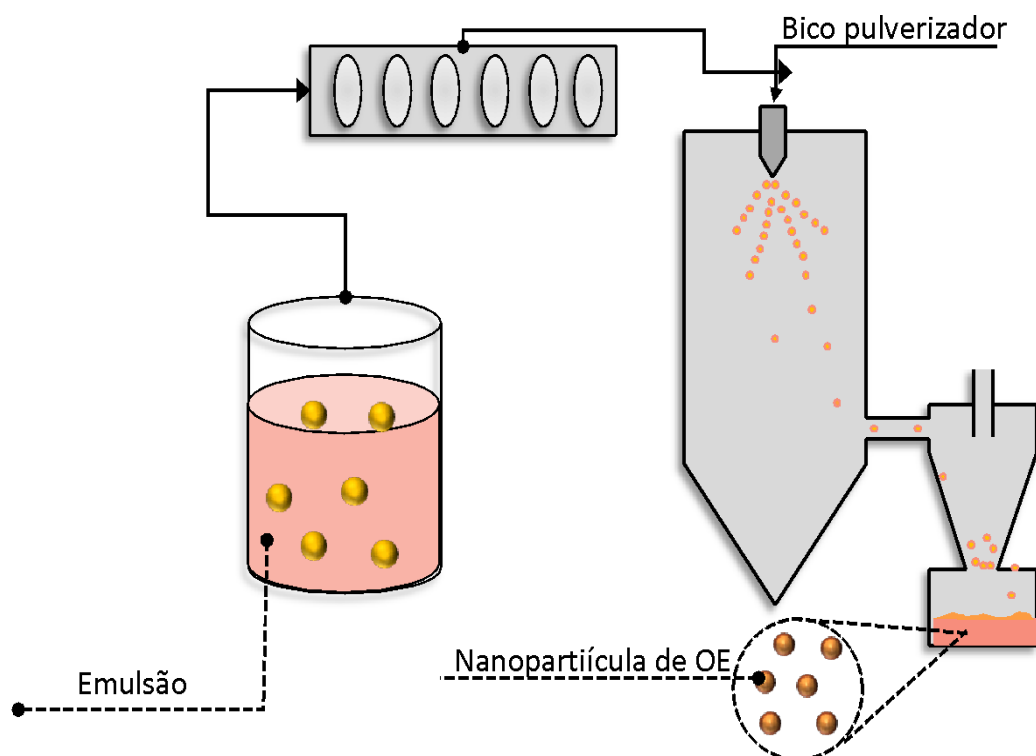


Figura 2. Esquema de microencapsulação pela técnica de atomização por *spray dryer*.
Fonte: Adaptado de Yammine et al., 2022.

Assim, foi realizada uma busca na base de dados *Scopus* de trabalhos que desenvolveram microcápsulas por método físico. Para cada técnica as palavras chaves

foram: “nome da técnica”, “microencapsulação” e “óleo essencial”. A Tabela 1 mostra o resultado das pesquisas dos últimos 2 anos (2020-2022).

Tabela 1: Trabalhos recentes com técnicas de microencapsulação de princípio físico utilizando diferentes matrizes encapsulantes.

Método	Título	Tipo de óleo essencial	Matriz encapsulante	Função/Resultado	Ano	Fonte
Extrusão	Influence of free and microencapsulated oregano oil on starch and poly (butylene co-terephthalate adipate) active film properties	Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Goma arábica e Maltodextrina	As microcápsulas apresentaram maior estabilidade térmica, maior concentração de compostos fenólicos e capacidade antioxidante	2022	(30)
	Effect of the Amount of Polysorbate 80 and Oregano Essential Oil on the Emulsion Stability and Characterization Properties of Sodium Alginate Microcapsules	Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Alginato de sódio	O alginato manteve as propriedades antioxidantes do óleo essencial e contribuiu para a estabilidade da emulsão	2021	(31)
	Production of Wheat Flour/PBAT Active Films Incorporated with Oregano Oil Microparticles and Its Application in Fresh Pastry Conservation	Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Goma arábica, Maltodextrina e Farinha de trigo	Filme formado com óleo encapsulado apresentou menor resistência à tração e módulo de Young e maior alongamento, solubilidade, capacidade antioxidante e coeficiente de difusão quando comparados aos filmes com óleo de orégano livre	2021	(32)
	Clove essential oil - free and encapsulated for antimicrobial leather	Cravo-da-índia (<i>Syzygium aromaticum</i>)	Alginato e sílica	A encapsulação, nas duas condições, concedeu estabilidade química ao óleo de cravo, que potencializou a atividade antimicrobiana contra <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Escherichia coli</i> .	2020	(33)
Fluidization	Microwave assisted fluidized bed drying of nutmeg mace for essential oil enriched extracts: An assessment of drying kinetics, process optimization and quality	Noz-moscada (<i>Myristicafragrans</i> Houtt)	Gelatina	O teste de microencapsulação assistido com micro-ondas apresentou menor custo, distribuição de temperatura homogênea, temperaturas amenas.	2020	(34)
Liofilização	Microencapsulation of sweet orange essential oil (<i>Citrus aurantium</i> var. <i>dulcis</i>) by liophilization using maltodextrin and	Laranja doce (<i>Citrus sinensis</i>)	Maltodextrina e Maltodextrina + gelatina	A Microencapsulação com base apenas de Maltodextrina apresentou superfície regular,	2020	(35)

maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities		melhor estabilidade térmica e maior propriedade antioxidante			
Spray dryer	Changes in fatty acid profiles of microencapsulated fish oils prepared with citrus essential oils using a spray dryer	Limão (<i>Citrus limon</i>), Toranja (<i>Citrus paradisi</i>) e laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Maltodextrina	O óleo de toranja contribuiu para preservar as propriedades do óleo de peixe	2022 (36)
	Microencapsulation of oregano essential oil by spray-drying using maltodextrin: gum arabic blends	Orégano (<i>Origanum vulgare</i>)	Maltodextrina e goma arábica	A microencapsulação do óleo essencial de orégano preservou as atividades antioxidantes e antimicrobianas de seus compostos bioativos.	2022 (37)
	Evaluation of Microencapsulated Essential Oils in Broilers Challenged with Salmonella Enteritidis: A Focus on the Body's Antioxidant Status, Gut Microbiology, and Morphology	Tomilho (<i>Thymus vulgaris</i>) Segurelha (<i>Spondias purpúrea</i>) hortelã-pimenta (<i>Mentha piperita</i>)	Maltodextrina e amido modificado	As microcápsulas apresentaram preservação da atividade antioxidante e antibacteriana. Além disso, após o consumo da ração foi observado que a conversão alimentar melhorou o estado antioxidante do corpo, estrutura, e inflamação no tecido do fígado.	2022 (38)
	Microencapsulation of essential oil of molle (<i>Schinus Molle</i>) against the aphid <i>Macrosiphum euphorbiae</i>	Molle (<i>Schinus Molle</i>)	Quitosana	A microcápsula de quitosana potencializou a preservação do óleo essencial. Além disso, a microcápsula apresentou efeito biocida,	2022 (39)
	High efficiency microencapsulation of extra virgin olive oil (EVOO) with novel carrier agents: Fruit proteins	Azeite de oliva extra virgem (<i>Olea europaea L</i>)	Isolado de proteína de cereja azeda e isolado de proteína de romã	As microcápsulas preservaram as características do óleo, tornando as novas bases de encapsulação uma boa alternativa.	2021 (40)

Influence of different combinations of wall materials on encapsulation of Nigella sativa oil by spray dryer	Cominho preto (<i>Nigella sativa</i>)	Maltodextrina /lactose/goma arábica Caseinato de sódio e Concentrado de proteína de soro de leite	As microcápsulas com Maltodextrina /lactose/goma arábica apresentaram maiores preservação das atividades antioxidantes	2021	(41)
Determination of Fatty Acids Changes During Storage of Microencapsulated Fish Oils Prepared with Sage Essential Oil in Different Proportions	Sálvia (<i>Salvia sclarea</i>)	Maltodextrina	Os óleos de peixe microencapsulados com óleo essencial de sálvia deram melhores resultados do que o grupo controle. Além disso, foi determinado que o óleo essencial de sálvia mascara o cheiro do óleo de peixe usado no estudo.	2021	(42)
Evaluation of the microencapsulation of orange essential oil in biopolymers by using a spray-drying process	Laranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Gelatina Acetona e lignina	Dentre as matrizes testadas a que preservou em maior proporção as propriedades do óleo essencial foi a gelatina.	2020	(43)

De acordo com os trabalhos apresentados, é possível ressaltar que a técnica de *spray dryer* é mais trabalhada. Essa técnica fornece a microcápsula baixa atividade de água, utiliza equipamentos simples, além de apresentar processo encapsulamento mais eficiente em relação as demais técnicas.

3.1.2 MÉTODOS QUÍMICOS

(i) Coacervação

Na técnica de coacervação, um (coacervação simples) ou mais (complexa) hidrocolóides são dispersos em uma solução aquosa contendo óleo essencial. Com uma mudança no pH ou na temperatura, os colóides com cargas opostas se ligam para formar uma camada ao redor da substância ativa. As microcápsulas formadas são coletadas por centrifugação ou filtração e depois secas (*spray dryer*) (44).

O processo de coacervação de OE na fase líquida, produção de um sistema trifásico, ou seja, retirada da segunda fase líquida (coacervato), deposição de polímero líquido ao redor do núcleo, gelificação, e solidificação da parede da microcápsula (Figura 3). A coacervação oferece grande capacidade de carga, imiscibilidade das microcápsulas em água e alta eficiência de encapsulamento, o que leva a propriedades ideais de liberação controlada. No entanto, é considerado um método caro e complexo, além de utilizar altas temperaturas, que podem ser prejudiciais às células (29).

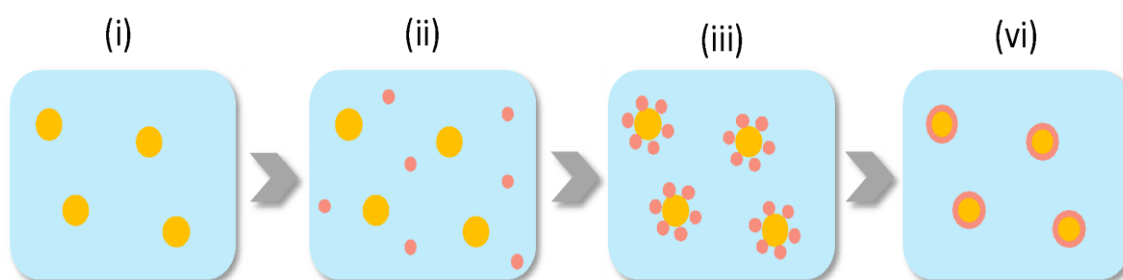


Figura 3 - Mecanismo de formação de cápsulas carreadoras utilizando o método de coacervação, fase líquida (i), suspensão do material do núcleo na fase líquida (i), deposição de polímero líquido ao redor do núcleo (iii), gelificação e solidificação da parede da microcápsula (iv).

Fonte: Adaptado de Napiórkowska e Kurek (2022)

(ii) Gelatinização iônica

A técnica de microencapsulação por emulsificação baseia-se nas interações e associações entre as fases contínua e descontínua. Primeiramente, uma fase aquosa e uma suspensão polimérica é dispersa em uma fase orgânica (como óleo), resultando em uma emulsão de água em óleo. Assim, a solidificação das cápsulas é realizada pelo uso de um agente gelificante (44).

O emprego de hidrocolóides como carragena, alginato, pectina, como agentes de reticulação, leva à gelificação iônica, enquanto o uso de um solvente orgânico como fase contínua leva à polimerização interfacial. É necessária a presença de um tensoativo para

reduzir a tensão superficial na matriz de revestimento e, conseqüentemente, o tamanho das esferas, além de um agente solidificante (por exemplo, cloreto de cálcio) (45). Dentre as vantagens dessa técnica, destaca-se o pequeno diâmetro obtido, mas a principal desvantagem é a grande polispersividade das microcápsulas, que apresentam ampla variação de tamanho e forma (28).

(iii) Lipossomas

O uso de vesículas fosfolipídicas conhecidas como lipossomas tem atraído muita atenção nas indústrias farmacêutica, alimentícia e cosmética (46). Os lipossomas são vesículas esféricas compostas por uma ou mais bicamadas fosfolipídicas envolvendo um meio aquoso (47). Essa estrutura permite o possível encapsulamento e entrega de substâncias hidrofílicas e hidrofóbicas. O encapsulamento de substâncias hidrofílicas ocorre dentro do núcleo do lipossoma, enquanto as hidrofóbicas, tais como os óleos essenciais são particionadas dentro da bicamada (48). Estrutura semelhante é descrita para nanolipossomas. Os nanolipossomas são descritos como adaptações nanométricas de lipossomas e são caracterizados por terem um tamanho de partícula de 1 a 1000 nm. No entanto, na maioria das aplicações recentes, a faixa de diâmetro médio é de aproximadamente 50-150 nm (48).

Nano e lipossomas podem ser classificados de acordo com suas características de lamelaridade, tamanho e vesicularidade. As vesículas unilamelares grandes (LUV) são caracterizadas pela presença de uma única bicamada lipídica, enquanto as vesículas multilamelares (MLV) apresentam um maior número de bicamadas lipídicas concêntricas (Figura 4). Vesículas múltiplas que são revestidas por uma única bicamada lipídica são conhecidas como vesículas multivesiculares (MVV) e vesículas unilamelares com uma dupla bicamada são chamadas de vesículas de dupla bicamada (DBV) (44).

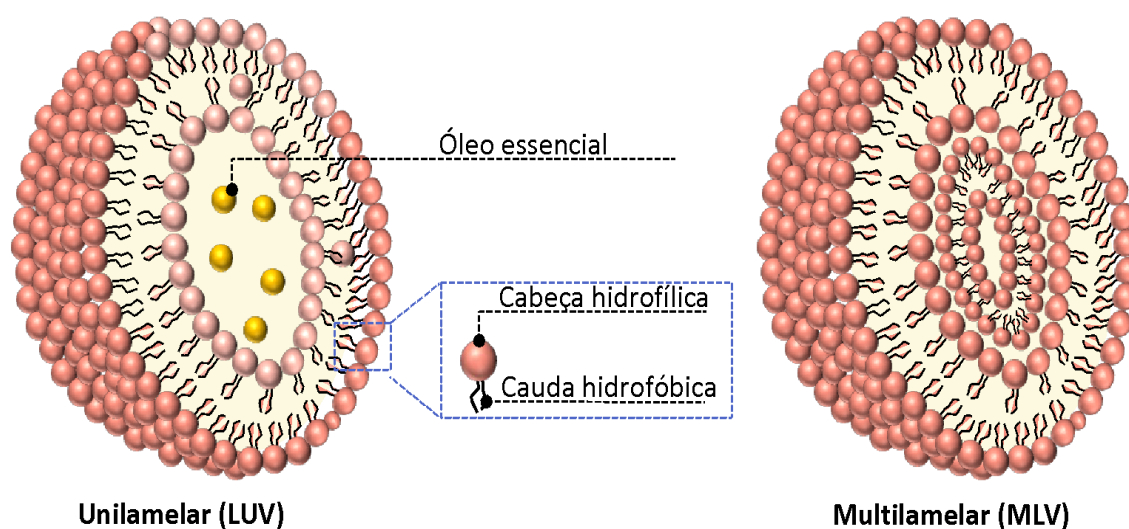


Figura 4 - Esquema de representação das vesículas unilamelares grandes (LUV) e vesículas multilamelares (MLV).

Fonte: Adaptado de Santos et al., 2019.

4. CONCLUSÕES

Com base nessa revisão, o estudo de técnicas que preservem as características dos óleos essenciais é de grande importância, uma vez que eles apresentam atividade antimicrobiana, biocida, antioxidante, anti-inflamatória, dentre outras, podendo variar de acordo com a composição.

Vale ressaltar que, a eficácia da microencapsulação depende de vários fatores, como a natureza química do óleo, das propriedades do material da matriz encapsulante e das técnicas utilizadas. Dentre as técnicas de microencapsulação a mais encontrada foi a que utiliza *spray dryer*. Essa técnica, de acordo com a literatura, é mais flexível, economicamente viável, eficiente e produz pó de boa qualidade. Contudo, a técnica promove o encapsulamento utilizando altas temperaturas, o que pode levar a volatilização e destruição do produto. Dentre as matrizes encapsulantes, a maltodextrina é muito utilizada e possui a vantagem de ser barata, de sabor suave, altamente solúvel em água, baixa viscosidade em altos teores de sólidos, ligeiramente doce, digerível e incolor. Assim, com base no apresentado sugere-se que para cada óleo essencial pode ser determinada uma técnica de microencapsulação, buscando potencializar a preservação de sua funcionalidade.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento a Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais- FAPEMIG.

REFERÊNCIAS

1. Bajac J, Nikolovski B, Lončarević I, Petrović J, Bajac B, Đurović S, et al. Microencapsulation of juniper berry essential oil (*Juniperus communis* L.) by spray drying: microcapsule characterization and release kinetics of the oil. *Food Hydrocoll.* 2022 Apr;125:107430.
2. Liang J, Zhang Y, Chi P, Liu H, Jing Z, Cao H, et al. Essential oils: Chemical constituents, potential neuropharmacological effects and aromatherapy - A review. *Pharmacological Research - Modern Chinese Medicine.* 2023 Mar;6:100210.
3. Dandlen SA, Lima AS, Mendes MD, Miguel MG, Faleiro ML, Sousa MJ, et al. Antioxidant activity of six Portuguese thyme species essential oils. *Flavour Fragr J.* 2010 May;25(3):150–5.
4. Farias PKS, Silva JCRL, Souza CN de, Fonseca FSA da, Brandi IV, Martins ER, et al. Antioxidant activity of essential oils from condiment plants and their effect on lactic cultures and pathogenic bacteria. *Ciência Rural.* 2019;49(2).
5. Patil SR. Antibacterial activity of silver nanoparticles synthesized from *Fusarium semitectum* and green extracts. *Int J Sci Eng Res.* 2014;2:140–145.
6. dos Santos CA, Seckler MM, Ingle AP, Gupta I, Galdiero S, Galdiero M, et al. Silver nanoparticles: Therapeutic uses, toxicity, and safety issues. *J Pharm Sci.* 2014;103(7):1931–44.
7. Yammine J, Chihib NE, Gharsallaoui A, Dumas E, Ismail A, Karam L. Essential oils and their active components applied as: free, encapsulated and in hurdle technology to fight microbial contaminations. A review. *Heliyon.* 2022 Dec;8(12):e12472.

8. Shetta A, Kegere J, Mamdouh W. Comparative study of encapsulated peppermint and green tea essential oils in chitosan nanoparticles: Encapsulation, thermal stability, in-vitro release, antioxidant and antibacterial activities. *Int J Biol Macromol.* 2019 Apr;126:731–42.
9. Zhu Y, Li C, Cui H, Lin L. Encapsulation strategies to enhance the antibacterial properties of essential oils in food system. *Food Control.* 2021 May;123:107856.
10. López-Meneses AK, Plascencia-Jatomea M, Lizardi-Mendoza J, Fernández-Quiroz D, Rodríguez-Félix F, Mouriño-Pérez RR, et al. Schinus molle L. essential oil-loaded chitosan nanoparticles: Preparation, characterization, antifungal and anti-aflatoxigenic properties. *LWT.* 2018 Oct;96:597–603.
11. Meng FB, Gou ZZ, Li YC, Zou LH, Chen WJ, Liu DY. The Efficiency of Lemon Essential Oil-Based Nanoemulsions on the Inhibition of *Phomopsis* sp. and Reduction of Postharvest Decay of Kiwifruit. *Foods.* 2022 May 22;11(10):1510.
12. Kumar A, Kujur A, Yadav A, Pratap S, Prakash B. Optimization and mechanistic investigations on antifungal and aflatoxin B1 inhibitory potential of nanoencapsulated plant-based bioactive compounds. *Ind Crops Prod.* 2019 May;131:213–23.
13. Gao M, Ji M, He Y, Pan X, Wang Y, Si T, et al. Construction of consumer-friendly essential oil microcapsules with viscous cores to provide extra long-lasting release. *Powder Technol.* 2023 Jan;413:118040.
14. Ranjbaryan S, Pourfathi B, Almasi H. Reinforcing and release controlling effect of cellulose nanofiber in sodium caseinate films activated by nanoemulsified cinnamon essential oil. *Food Packag Shelf Life.* 2019;21.
15. Jummes B, Sganzerla WG, da Rosa CG, Noronha CM, Nunes MR, Bertoldi FC, et al. Antioxidant and antimicrobial poly-ε-caprolactone nanoparticles loaded with *Cymbopogon martinii* essential oil. *Biocatal Agric Biotechnol.* 2020 Jan;23:101499.
16. Fasihi H, Noshirvani N, Hashemi M. Novel bioactive films integrated with Pickering emulsion of ginger essential oil for food packaging application. *Food Biosci.* 2023 Feb;51:102269.
17. Tian Q, Zhou W, Cai Q, Pan X, Ma G, Lian G. In situ complex coacervation supported by self-coated polydopamine interlayer on uniform-sized essential oils droplet. *J Colloid Interface Sci.* 2022 Oct;623:1027–38.
18. Mukurumbira AR, Shellie RA, Keast R, Palombo EA, Jadhav SR. Encapsulation of essential oils and their application in antimicrobial active packaging. *Food Control.* 2022 Jun;136:108883.
19. Saporito F, Sandri G, Bonferoni MC, Rossi S, Boselli C, Icaro Cornaglia A, et al. Essential oil-loaded lipid nanoparticles for wound healing. *Int J Nanomedicine.* 2017 Dec;Volume 13:175–86.
20. Locali Pereira AR, Gonçalves Cattelan M, Nicoletti VR. Microencapsulation of pink pepper essential oil: Properties of spray-dried pectin/SPI double-layer versus SPI single-layer stabilized emulsions. *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp.* 2019;581.
21. Reis DR, Ambrosi A, Luccio M di. Encapsulated essential oils: A perspective in food preservation. *Future Foods.* 2022 Jun;5:100126.
22. Bakkali F, Averbeck S, Averbeck D, Idaomar M. Biological effects of essential oils – A review. *Food and Chemical Toxicology.* 2008 Feb;46(2):446–75.
23. Lee Y, Ji YR, Lee S, Choi MJ, Cho Y. Microencapsulation of Probiotic *Lactobacillus acidophilus* KBL409 by Extrusion Technology to Enhance Survival under Simulated Intestinal and Freeze-Drying Conditions. *J Microbiol Biotechnol.* 2019 May 28;29(5):721–30.

24. Fangmeier M, Lehn DN, Maciel MJ, Volken de Souza CF. Encapsulation of Bioactive Ingredients by Extrusion with Vibrating Technology: Advantages and Challenges. *Food Bioproc Tech.* 2019 Sep 15;12(9):1472–86.
25. Pellicer JA, Fortea MI, Trabal J, Rodríguez-López MI, Gabaldón JA, Núñez-Delicado E. Stability of microencapsulated strawberry flavour by spray drying, freeze drying and fluid bed. *Powder Technol.* 2019 Apr;347:179–85.
26. Guignon B, Duquenoy A, Dumoulin ED. FLUID BED ENCAPSULATION OF PARTICLES: PRINCIPLES AND PRACTICE. *Drying Technology.* 2002 Feb;20(2):419–47.
27. Carpena M, Garcia-Oliveira P, Lourenço-Lopes C, Pereira AG, Fraga-Corral M, Prieto MA, et al. Freeze-Drying Encapsulation as a Mechanism of Choice in Oils: Methods and Mechanism. In 2021. p. 91–101.
28. Chiriac AP, Rusu AG, Nita LE, Chiriac VM, Neamtu I, Sandu A. Polymeric Carriers Designed for Encapsulation of Essential Oils with Biological Activity. *Pharmaceutics.* 2021 Apr 28;13(5):631.
29. Napiórkowska A, Kurek M. Coacervation as a Novel Method of Microencapsulation of Essential Oils—A Review. *Molecules.* 2022 Aug 12;27(16):5142.
30. Paulo AFS, Balan GC, Ströher GR, Yamashita F, Bittencourt PRS, Sakanaka LS, et al. Influence of free and microencapsulated oregano oil on starch and poly (butylene co-terephthalate adipate) active film properties. *Polymer Bulletin.* 2022;79(7).
31. Baranauskaitė J, Ockun MA, Uner B, Tas C, Ivanauskas L. Effect of the amount of polysorbate 80 and oregano essential oil on the emulsion stability and characterization properties of sodium alginate microcapsules. *Molecules.* 2021;26(20).
32. Balan GC, Paulo AFS, Correa LG, Alvim ID, Ueno CT, Coelho AR, et al. Production of Wheat Flour/PBAT Active Films Incorporated with Oregano Oil Microparticles and Its Application in Fresh Pastry Conservation. *Food Bioproc Tech.* 2021;14(8).
33. Kopp VV, Dos Santos C, Dos Santos JHZ, Gutterres M. Clove essential oil - free and encapsulated for antimicrobial leather. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists.* 2020;104(1).
34. Srinivas Y, Mathew SM, Kothakota A, Sagarika N, Pandiselvam R. Microwave assisted fluidized bed drying of nutmeg mace for essential oil enriched extracts: An assessment of drying kinetics, process optimization and quality. *Innovative Food Science and Emerging Technologies.* 2020;66.
35. de Araújo JSF, de Souza EL, Oliveira JR, Gomes ACA, Kotzebue LRV, da Silva Agostini DL, et al. Microencapsulation of sweet orange essential oil (*Citrus aurantium* var. *dulcis*) by liophylization using maltodextrin and maltodextrin/gelatin mixtures: Preparation, characterization, antimicrobial and antioxidant activities. *Int J Biol Macromol.* 2020;143.
36. Durmuş M. Changes in fatty acid profiles of microencapsulated fish oils prepared with citrus essential oils using a spray dryer. *Int J Food Sci Technol.* 2022 Dec 1;57(12):7607–14.
37. Rojas-Molina JO, García MA, Pino JA. Microencapsulation of oregano essential oil by spray-drying using maltodextrin: gum arabic blends. *Acta Aliment.* 2022 Aug 16;51(3):403–12.
38. Moharreri M, Vakili R, Oskoueian E, Gh R. Evaluation of Microencapsulated Essential Oils in Broilers Challenged with *Salmonella Enteritidis*: A Focus on the Body's Antioxidant Status, Gut Microbiology, and Morphology. *Arch Razi Inst.* 2022 Apr 30;77(2):629–39.
39. Mauricio Conde Sánchez J, Luis Felipe Chambilla Miranda I, Maria Zambrano Salas J, Keny Davi Alvarado Quiroz M, San José U, Jose SS. Microencapsulation of essential oil of molle

- (Schinus Molle) against the aphid *Macrosiphum euphorbiae*. *J Pharm Negat Results*. 2022 Oct 3;13(3):1019–23.
40. Başığit B, Yüçetepe M, Karaaslan A, Karaaslan M. High efficiency microencapsulation of extra virgin olive oil (EVOO) with novel carrier agents: Fruit proteins. *Mater Today Commun*. 2021 Sep 1;28:102618.
 41. Mohammed NK, Alhelli AM, Meor Hussin AS. Influence of different combinations of wall materials on encapsulation of *Nigella sativa* oil by spray dryer. *J Food Process Eng*. 2021 Mar 1;44(3):e13639.
 42. Durmuş M. Determination of Fatty Acids Changes During Storage of Microencapsulated Fish Oils Prepared with Sage Essential Oil in Different Proportions. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2021;31(4).
 43. Aguiar MCS, das Graças Fernandes da Silva MF, Fernandes JB, Forim MR. Evaluation of the microencapsulation of orange essential oil in biopolymers by using a spray-drying process. *Sci Rep*. 2020;10(1).
 44. Santos FH, Panda SK, Ferreira DCM, Dey G, Molina G, Pelissari FM. Targeting infections and inflammation through micro and nano-nutraceuticals. *Food Biosci*. 2022 Oct;49:101891.
 45. Hosseini SM, Hosseini H, Mohammadifar MA, Mortazavian AM, Mohammadi A, Khosravi-Darani K, et al. Incorporation of essential oil in alginate microparticles by multiple emulsion/ionic gelation process. *Int J Biol Macromol*. 2013 Nov;62:582–8.
 46. Zarrabi A, Alipoor Amro Abadi M, Khorasani S, Mohammadabadi MR, Jamshidi A, Torkaman S, et al. Nanoliposomes and Tocosomes as Multifunctional Nanocarriers for the Encapsulation of Nutraceutical and Dietary Molecules. *Molecules*. 2020 Feb 1;25(3):638.
 47. Tanaka Y, Uemori C, Kon T, Honda M, Wahyudiono, Machmudah S, et al. Preparation of liposomes encapsulating β -carotene using supercritical carbon dioxide with ultrasonication. *J Supercrit Fluids*. 2020 Jul;161:104848.
 48. Maiti TK, Parvate S, Dixit P, Singh J, Reddy VJ, Bhuvanesh E, et al. Liposome for encapsulation of essential oil and fatty acids. In: *Liposomal Encapsulation in Food Science and Technology*. Elsevier; 2023. p. 113–24.

Capítulo 40

Doi.org/10.53934/9786599965814-40

FERMENTADO ALCOÓLICO DE EXTRATO DO CAROÇO DE AÇAÍ (*EUTERPE OLERACEA MART.*) ENRIQUECIDO COM POLPA DE CARAMBOLA DA VARIEDADE ARKIN (*AVERRHOA CARAMBOLA L.*)

João Paulo de Melo Lins ^{ID}¹; Carolina Araújo Figueiredo ^{ID}²; Ingrid Rodrigues
Martins ^{ID}³; Suely Cristina Gomes de Lima ^{ID}⁴; Fernanda Hillary Duarte dos
Santos ^{ID}⁵; Beatriz Yngride Barbosa Ribeiro ^{ID}⁶; Larisse do Socorro Silva
Furtado ^{ID}⁷

¹João Paulo de M. Lins – Email: joaopaulodemelolins@gmail.com

²Carolina A. Figueiredo – Email: carolinafig21@gmail.com

³Ingrid R. Martins – Email: ingrydlmp@hotmail.com

⁴Suely G. de Lima – Email: suely04@gmail.com

⁵Fernanda H. D. dos Santos – Email: fhilary7@gmail.com

⁶Beatriz Y. B. Ribeiro – Email: beatrizyngride@gmail.com

⁷Larisse do S. S. Furtado – Email: furtadolarisse@gmail.com

Resumo: Dado o cenário da crescente geração de resíduos advindos das cadeias produtivas de frutas, os processos fermentativos se mostram como uma nova perspectiva para diversas maneiras de aproveitamento tecnológico. O objetivo do estudo foi avaliar o uso do extrato do caroço de açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) torrado associado a fermentação alcoólica da carambola (*Averrhoa carambola L.*) da variedade Arkin, realizar a caracterização físico-química das matérias-primas para elaboração da bebida e avaliar a sua qualidade microbiológica. Para a obtenção do extrato do caroço de açaí torrado, usou-se 60g em 1000mL de água (90 °C/5s) e para a preparação do mosto, empregou-se 1000mL do extrato acrescido de 2000g de carambola. A bebida foi elaborada mediante as etapas: chaptalização, inoculação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, fermentação alcoólica (30°C), decantação, trasfega, clarificação, filtração a vácuo e envase. A composição físico-química da polpa de carambola atendeu todos os critérios de qualidade exigidos em legislação brasileira, enquanto o extrato do caroço de açaí apresentou valores superiores aos encontrados na literatura para lipídios (3,72±0,73), cinzas (13,33±3,77), proteínas (2,40±0,13) e umidade (99,38±0,03). O processo fermentativo requereu 16 dias e tendo uma graduação alcóolica a 20 °C igual a 8,9 % v/v, o que corrobora a viabilidade produtiva do uso do extrato na fermentação alcóolica da carambola. Os dados físico-químicos da bebida atenderam aos critérios estabelecidos em legislação brasileira, assim como os resultados de qualidade microbiológica. Os resultados finais relativizam a necessidade de mais pesquisas visando a avaliação das características sensoriais e do perfil de aceitação mercadológica da bebida.

Palavras-chave: Caroço de açaí; Fermentado Alcoólico; Polpa de carambola

Abstract: Given the scenario of the increasing generation of waste from fruit production chains, the fermentative processes are shown as a new perspective for various ways of

technological utilization. The aim of this study was to evaluate the use of extract of roasted açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds associated with alcoholic fermentation of carambola (*Averrhoa carambola* L.) variety Arkin, to perform the physical-chemical characterization of the raw materials for the preparation of the beverage and evaluate its microbiological quality. To obtain the extract from the roasted açaí pits, 60g were used in 1000mL of water (90 °C/5s) and 1000mL of extract plus 2000g of starfruit were used to prepare the must. The beverage was prepared through the following steps: chaptalization, inoculation of *Saccharomyces cerevisiae* yeast, alcoholic fermentation (30°C), decantation, racking, clarification, vacuum filtration and bottling. The physical-chemical composition of the carambola pulp met all the quality criteria required by Brazilian legislation, while the extract of the açaí stone showed higher values than those found in the literature for lipids (3.72±0.73), ash (13.33±3.77), protein (2.40±0.13) and moisture (99.38±0.03). The fermentative process required 16 days and having an alcoholic strength at 20 °C equal to 8.9 % v/v, which corroborates the productive viability of using the extract in the carambola alcoholic fermentation. The beverage's physicochemical data met the criteria established by Brazilian legislation, as well as the microbiological quality results. The final results relativize the need for further research to evaluate the sensory characteristics and the market acceptance profile of the beverage.

Translated with www.DeepL.com/Translator (free version).

Key Word: Acai seed; Alcoholic fermented; Carambola pulp

1 INTRODUÇÃO

O aumento expressivo no consumo de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) dado em escala global nos últimos anos, elevou proporcionalmente a geração de resíduos, em grande destaque o caroço (1). De acordo com os últimos dados apontados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2015 foram produzidas mais de 125.32 toneladas de polpa de açaí no estado do Pará, sendo este o maior produtor mundial do fruto, e, do total estima-se que 83% do beneficiamento seja resíduo (2).

Os caroços de açaí são fonte de *mananases*, podendo ser viável enzimaticamente quando convertida em manose – um açúcar fermentável (3). Nesse caso, observa-se por meio dos processos fermentativos uma nova perspectiva destinada ao uso do extrato do caroço de açaí torrado para fins de consumo humano, frente ao panorama de reaproveitamento do resíduo (4).

Outrossim, as bebidas fermentadas, particularmente de frutas ganham destaque no número de pesquisas, justamente pela alta aceitação mercadológica e sensorial (5). Por conseguinte, surge como fonte para enriquecimento do mosto a carambola, visto que apresenta grande adaptabilidade em regiões de climas quentes no Brasil, embora seja muito desperdiçada pelo seu elevado índice de perecibilidade (6).

A fruta é considerada exótica, fonte de compostos fenólicos, antioxidantes, rica em potássio, vitamina C, além de apresentar baixa caloria (7). Assim, é evidente o crescente interesse social e econômico em dinamizar estratégias para o desenvolvimento e produção de novas possibilidades em consonância ao fortalecimento da cadeia produtiva de frutas, seus subprodutos, resíduos e combate ao desperdício (8).

Diante desse pressuposto, esta pesquisa teve como objetivo principal avaliar o uso do extrato do caroço de açaí torrado no processo de fermentação alcoólica da carambola

(*Averrhoa carambola L.*) da variedade Arkin, e, realizar a caracterização físico-química das matérias-primas para elaboração do mosto e da bebida, além de avaliar a qualidade microbiológica do produto obtido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

As matérias-primas foram adquiridas no *campus* do IFPA, na cidade de Castanhal – PA/Brasil. Para a obtenção do extrato do caroço de açaí torrado foi utilizado 60 g em 1000 mL de água (90 °C/5 s) e para a preparação do mosto, usou-se 1000 mL do extrato obtido acrescido de 2000 g de carambola. Em seguida, a bebida foi elaborada mediante as seguintes etapas: chaptalização, inoculação da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, fermentação alcoólica (30 °C), decantação e trasfega, clarificação, filtração a vácuo e envase. O processo cinético da fermentação foi acompanhado por 16 dias (384 horas) e avaliado nos tempos 0, 6, 18, 48, 96, 168, 216, 336 e 384, em horas por meio dos parâmetros: pH, acidez total – ATT (%), sólidos solúveis SST – (°Brix) e teor alcoólico (% v/v).

Para às análises físico-químicas do extrato, da polpa de carambola e do fermentado alcoólico, usou-se a metodologia prescrita pelo Instituto Adolfo Lutz (9), sendo os parâmetros avaliados: umidade, cinzas, sólidos solúveis totais (STT), proteínas, pH, lipídeos e acidez volátil. Já para análises de acidez total titulável (ATT) e acidez total titulável em ácido cítrico, seguiu-se a metodologia preconizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (10). Por fim, o teor alcoólico foi medido pelo software *Vinocalc*, onde é introduzido o valor da concentração de sólidos solúveis (°Brix) inicial, medido por refratômetro, ao longo do processo fermentativo foram adicionadas no campo “*Current ° Brix (refractometer)*” o valor da concentração de sólidos solúveis (°Brix) determinados durante o acompanhamento da fermentação. Com estes dois valores, foi dado o teor alcoólico no campo *Current alcohol (%v/v)*.

A caracterização microbiológica da bebida foi feita no laboratório de microbiologia do próprio Instituto Federal de Educação *Campus* Castanhal – PA. As análises para coliformes totais a 35° C e termotolerantes a 45° C foi realizada pela técnica do número mais provável (NMP), para a enumeração de coliformes totais foi efetuada em Ágar Violet Red Bile (VRBA), com incubação a 35°C por 48 horas (11). A enumeração de coliformes termotolerantes foi realizada em Caldo *Escherichia coli* (EC), com incubação a 45,5°C por 48 horas.

Para a avaliação de aeróbios e mesófilos, usou-se o método de plaqueamento (12), assim como para bolores e leveduras através do método de plaqueamento para contagem (13).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química das matérias-primas

A tabela 1 dispõe os parâmetros avaliados quanto a caracterização das propriedades físico-químicas do extrato do caroço de açaí torrado e da carambola da variedade Arkin.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do extrato do caroço de açaí e da polpa de carambola da variedade Arkin

Matérias-primas	Parâmetros Analíticos							Acidez titulável em ácido cítrico (%)
	Umidade (%)	Cinzas	STT (°Brix)	Proteína	pH	Lipídeos	ATT (%)	
Extrato do caroço de açaí torrado (g/100g)	99,38 ± 0,03	13,33 ± 3,77	1,07 ± 0,06	2,40 ± 0,13	4,94 ± 0,08	3,72 ± 0,73	0,88 ± 0,03	-
Carambola Variedade Arkin (g/100g)	89,57 ± 1,009	3,87 ± 0,97	6,93 ± 0,12	6,03 ± 0,72	2,64 ± 0,64	2,54 ± 0,67	13,83 ± 0,64	8,85 ± 0,41

(STT: sólidos solúveis totais; ATT: acidez total titulável)
Valores expressos em média ± desvio padrão.

A partir dos dados visualizados na tabela 1, observa-se que a amostra apresentou maior umidade (99,38%), explicada pela água presente no extrato, consiste com isso em uma maior suscetibilidade a processos de deterioração e a contaminações microbiológicas quando não consumida imediatamente, isto é, a longo prazo (10). Poucos estudos tratam a umidade do extrato do caroço de açaí torrado, Melo et al., (14) encontraram valor inferior, com $7,91 \pm 0,01$ g/100g e Arruda et al., (15) de $31,14 \pm 0,05$ g/100g no caroço de açaí torrado. Vendo por outro lado, é importante considerar que o tempo de secagem, a concentração do pó no preparo da bebida e o tempo de torrefação dos caroços, pois influenciam significativamente no teor de água presente no extrato (16).

Os teores de lipídios ($3,72 \pm 0,73$), cinzas ($13,33 \pm 3,77$) e proteínas ($2,40 \pm 0,13$) do extrato observado nesse estudo demonstraram resultados bastantes satisfatórios. Para efeito comparativo, em relação ao estudo de Melo et al., (16), que avaliaram a composição centesimal do pó do caroço de açaí torrado obtiveram valores de $2,75 \pm 0,01$ (lipídios), $1,36 \pm 0,01$ (cinzas) e $4,89 \pm 0,03$ (proteínas). Arruda et al., (15) ao estudarem a composição bromatológica do farelo de semente de açaí na alimentação de frangos de corte de crescimento lento, encontram valores de $1,42 \pm 0,19$ (lipídeos), $1,29 \pm 0,01$ (cinzas) e $3,78 \pm 0,10$ (proteínas). Os resultados vistos corroboram que o extrato desta pesquisa obteve valores superiores no teor de extrato etéreo e de conteúdo mineral fixo, e valor inferior no de proteínas, isto é, frente aos trabalhos envolvendo somente o caroço torrado.

Para Martins et al., (17) deve-se levar em consideração que o açaí é uma fonte rica em lipídios, proteínas e fibras, sendo altamente energético, mas passível de variações em seus quantitativos nutricionais, pois o fruto depende de condições climáticas, estado fisiológico, período de safra e tipo de variedade – qualidade nutricional. Com base nisso, correlata-se a presença destas macromoléculas abundantemente concentradas no endocarpo também presentes no caroço, e que por sua vez, essas concentrações sofrem variabilidades por conta de tais condições mencionadas, além de fatores pós-processamento da polpa, ou seja, operações de beneficiamento do caroço torrado para produção do pó (18;19).

No entanto, foi possível denotar que o extrato pode concentrar valores superiores aos encontrados em caroços de açaí torrado na literatura, em especial no teor de cinzas

que apresenta em sua totalidade resíduos inorgânicos de grande relevância, como, Fe, K, Mg, Ca, P e outros (20;21).

O que aborda aos valores de pH ($4,94 \pm 0,08$), SST em °Brix ($1,07 \pm 0,06$) e a ATT% ($0,88 \pm 0,03$) os resultados caracterizam a bebida com sabor amargo por conta da baixa concentração de açúcares, classificando-a como ácida (22). Para Marinho et al., (23), valores ligeiramente ácidos podem inibir a atividade dos microrganismos, logo o extrato confere um fator antimicrobiano que permite uma maior estabilidade e segurança ao consumidor.

A polpa da carambola da variedade Arkin (tipo doce) apresentou teor de água de 89,57%. Araújo et al. (24) apresentaram percentual de umidade superior a 94,42% em seu trabalho, resultado próximo ao obtido no estudo. A umidade é um importante parâmetro analítico no que concerne a qualidade de vida útil dos vegetais, pois age diretamente em sua estabilidade e textura (25).

O resíduo mineral fixo ou as cinzas compõem a parcela inorgânica dos alimentos, são formadas por micro e macro nutrientes que podem variar de acordo com a composição do solo em que o vegetal foi cultivado, condições climáticas e outros fatores, sendo calculada para diagnosticar o valor nutritivo do alimento, como também, usado como indicativo de pureza e adulterações (26). O teor de cinzas da polpa da carambola, foi igual a 3,87%, apresentou valores superiores quando comparado aos resultados obtidos por Almeida et al., (27) em carambolas cultivadas no estado do Pará (0,55%), Torres et al., (28) avaliaram as carambolas cultivadas no estado da Paraíba (0,52%) significando que a polpa possui um alto teor de matéria inorgânica.

O teor de sólidos solúveis da polpa se manteve em torno de 6,93 °Brix, resultado inferior, porém próximo do encontrado por Torres et al., (29) com 8,0 °Brix e Almeida et al., (28) com 8,9 °Brix. O limite estabelecido pela legislação IN n° 37 de 1° de outubro de 2018, estabelece valor mínimo de 7,5 °Brix, valor acima do encontrado na polpa (29).

De acordo com Oliveira et al., (30) vale ressaltar que a variação do teor de sólidos solúveis pode ocorrer devido a quantidade de chuva durante a safra, fatores climáticos, variedade, solo, entre outros. As proteínas são nutrientes essenciais para imunidade e reações químicas no organismo do ser humano, quando necessário são convertidas em glicose para fornecer energia, quando em excesso podem causar sobrecarga de trabalho no fígado e nos rins, aumento da excreção de cálcio e de outros minerais (30). Neste trabalho a concentração de proteína na polpa é igual a 6,03%, valor de acordo em legislação brasileira (31).

Para o pH, obteve-se valor igual a 2,64, o valor encontrado por Almeida et al., (27) foi de 3,61 e por Oliveira et al. (31) igual a 3,76 e 3,8. A determinação do pH é um fator importante na limitação dos tipos de microrganismos capazes de se desenvolver no alimento, uma vez que a maioria dos microrganismos se desenvolvem em pH por volta da neutralidade (6,6 a 7,5) e de acordo com a legislação o pH da polpa da carambola deve ser no mínimo 3,3 para estar no parâmetro adequado, entretanto a normativa não específica qual a variedade da fruta, tendo em vista que a carambola da variedade Arkin apresenta um sabor mais adocicado (29).

Para Almeida et al., (27), a acidez titulável foi de 0,35% e para Torres et al., (28) foi de 0,37%, o que difere significativamente do valor determinado neste trabalho, apresentando 13,83%. Essa divergência nos resultados pode ser explicada também devido as condições climáticas e solo, específicas de cada região, devido ao ponto de maturação e armazenamento dos frutos (32).

Oliveira et al., (33) comentaram que na Índia existem dois tipos de carambolas: as cultivares ácidas que contêm 0,8% de ácido cítrico e os doces, mais de 5% de açúcares. O teor de ácidos cítricos influencia no flavor dos sucos, tornando-os mais ou menos aceitos dependendo do tipo de consumidor. O teor de ácido cítrico encontrado na polpa da carambola foi de 8,81%, concluindo que é considerado um fruto doce e a variável menos aceita entre (32).

Os valores de lipídios apresentaram 2,54% diferindo do apresentado por Oliveira et al., (31) com 0,16% de teor. Os lipídeos são fornecedores de calorias (energia) e de ácidos graxos, substâncias de grande importância para o organismo do ser humano quando consumido sem exageros (34). Os lipídios contribuem na absorção das vitaminas A, D, E e K, são caracterizados como substâncias insolúveis em água e solúveis em solventes orgânicos, sendo os triacilgliceróis os lipídeos mais comuns, conhecidos como óleos e gorduras. (35). Desse modo, os lipídeos colaboram com a textura, sabor, nutrição e densidade calórica, cumprindo um papel muito importante na qualidade dos alimentos (36).

➤ Cinética da fermentação alcoólica

A Figura 1 apresenta o processo cinético do consumo do substrato (polpa de carambola + extrato do caroço de açaí torrado) durante os tempos 0, 6, 18, 48, 96, 168, 216, 336 e 384, em horas por meio das avaliações dos parâmetros: pH, ATT (%) e SST (°Brix) e teor alcoólico (%v/v).

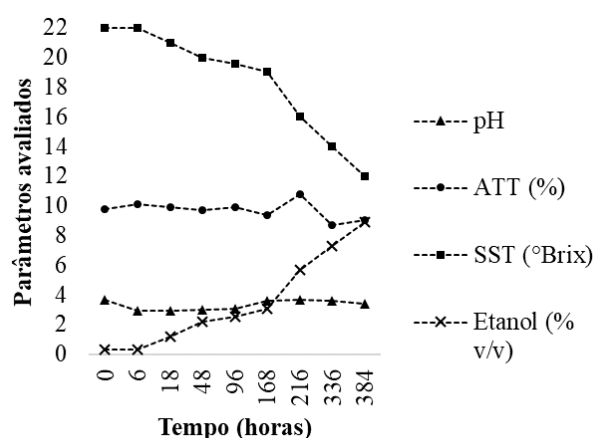


Figura 1 – Comportamento dos parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica de carambola com extrato do caroço de açaí.

Durante o processo de fermentação, observou-se que os valores de pH apresentaram pouca variação, no entanto demonstrou-se oscilações durante todo o processo e, ao final da fermentação o valor de pH inicial do mosto diminuiu gradativamente de $(3,68 \pm 0,02)$ para $3,4 \pm 0,02$). A variação paulatina pode ser explicada mediante a produção de ácidos orgânicos. A figura 1 apresenta o processo cinético do consumo do substrato (polpa de carambola + extrato do caroço de açaí torrado) durante os tempos 0, 6, 18, 48, 96, 168, 216, 336 e 384, em horas por meio das avaliações dos parâmetros: pH, ATT (%) e SST (°Brix) e teor alcoólico (%v/v).

Durante o processo de fermentação, percebeu-se que os valores de pH apresentaram pouca variação, no entanto, demonstrou-se oscilações durante todo o processo. Mas ao final da fermentação o valor de pH inicial do mosto diminuiu gradativamente de $(3,68 \pm 0,02)$ para $3,4 \pm 0,02$). A variação paulatina pode ser explicada mediante a produção de ácidos orgânicos pelas leveduras durante o processo, além da formação de etanol, outros compostos são formados como ácidos de cadeia média, e, portanto, contribuem para essas variações (37). Comportamento semelhante foi encontrado por Albuquerque et al., (38), que observavam a diminuição deste parâmetro durante o processo de fermentação do caldo de sapoti.

Quanto aos resultados para a acidez total (ATT), houve também uma moderada variação, tendo em vista que a acidez inicial (9,8%) decorreu em pequena diminuição somente no final da fermentação (9,04%). Para Santos (39) o aumento da acidez total é indicativo da produção de ácidos graxos orgânicos, que em processos de fermentação alcoólica mantém o meio isento de bactérias. Após as primeiras 48 horas da fermentação, foi notório uma variação pouco significativa na concentração de sólidos solúveis de (22 a 20 °Brix) fato que Tortara et al., (40) caracteriza de fase de adaptação das leveduras inoculadas ao meio - fase de fermentação preliminar.

Ainda na Figura 1, verifica-se a redução gradativa na concentração de açúcares após as primeiras 48 horas, o que configura a fase de fermentação principal, segundo Fonseca et al., (40), onde ocorre a intensa atividade metabólica e acentuado crescimento populacional da levedura *Saccharomyces cerevisiae*, resultando no aumento da síntese de etanol (0,3 para 8,2 % v/v) como consequência da redução expressiva no teor de STT (de 20 para 13 °Brix). A partir do décimo sexto dia de fermentação, observou-se que a concentração de STT (°Brix) mostrou-se constante, não havendo formação de bolhas de gases no mosto, com indício do fim da fermentação. Barbosa (41) relata que o aumento do teor alcoólico reduz a disponibilidade de nutrientes e contribui com o acúmulo de resíduos celulares, corroborando com a redução do processo fermentativo.

➤ Caracterização físico-química do fermentado alcoólico

A Tabela 2 dispõe os resultados das características físico-químicas avaliadas da bebida fermentada de frutas obtida.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do vinho de carambola com extrato do caroço de açaí torrado.

Parâmetros Analíticos	Resultados	*Legislação Brasileira
pH	$3,4 \pm 0,06$	–
Acidez total (meq/L.)	$90,4 \pm 0,03$	50-130
Acidez Volátil (meq/L.)	$6,4 \pm 0,18$	≤ 20
SST (°Brix)	$6,8 \pm 0,04$	–
Gradação alcoólica a	$8,9 \pm 0,001$	4-14

20 °C (%
v/v)

Valores expressos em média \pm desvio padrão. * Parâmetros definidos na Instrução Normativa nº34 de 29 de novembro de 2012 em legislação vigente para bebidas fermentadas. STT: sólidos solúveis totais.

A Instrução Normativa de nº 34/2012 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA não estabelece limites máximos e mínimos para pH e teor de STT em fermentados alcoólicos de frutas, mesmo não enquadrando o uso de caroços de frutas no processo (42). Entretanto, o valor de SST apresentado caracteriza a bebida com sabor relativamente doce e agradável, de acordo com a portaria. O teor de SST (°Brix) foi de $(6,8 \pm 0,04)$ e o pH de $(3,4 \pm 0,06)$. Para Torres Neto et al., (43), valores de pH nesta faixa confere à bebida fermentada maior resistência às infecções bacterianas, classificando-a como uma bebida ácida, fato observado no fermentado de Carambola com caroço de açaí.

O teor alcoólico do fermentado foi de $(8,9 \% \text{ v/v a } 20 \text{ °C})$, estando dentro dos critérios preconizados em legislação brasileira vigente, apresentando variações de 4 a 14% v/v. No estudo da fermentação alcoólica de Bessa et al., (44) a partir da polpa do melão das variedades amarelo e cantaloupe, obtiveram teores inferiores ao presente estudo, com variações de 5,03% a 6,80% v/v, já Almeida et al., (45) obtiveram teores alcoólicos, com valores próximos, entre 5,67%, 5,43%, 7,30% e 7,70 % v/v, na fermentação alcoólica fruto do mandacaru.

Ainda na Tabela 1, os valores de acidez total e volátil encontram-se dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (42). Para Aquarone et al., (46) valores acentuados de acidez volátil confere gosto avinagrado à fermentados alcoólicos, devido a produção de ácidos orgânicos voláteis, como o ácido acético. Paula et al., (47) encontraram valores de acidez volátil de 7,27 meq/L para fermentado alcoólico de Umbu e Pereira et al., (48) apresentaram valores de 7,84 meq/L para fermentado alcoólico de cupuaçu e açaí, ambos valores próximos aos obtidos neste trabalho.

➤ Avaliação microbiológica do fermentado alcóolico

Tabela 2 – Resultados microbiológicos dos fermentados alcoólicos de vinho de carambola com extrato do caroço do açaí.

Microrganismos	Amostra
Coliformes a 35° [NMP/ml]	< 3,0 (Est.)
Coliformes a 45° [NMP/ml]	< 3,0 (Est.)
Aeróbios Mesófilos [UFC/ml]	< 10 (Est.)
Bolores e Leveduras [UFC/ml]	< 1×10^2

Fonte: Autores (2022).

Os resultados encontrados na tabela 3, reforçam a atenção adequada à higiene durante o processamento do produto, manuseio e transporte, uma vez que não houve indícios de contaminação para nenhum tipo de microrganismo examinado, segundo a RDC nº 724 (49) e a IN 161 (50) da Agência Nacional de Vigilância Brasileira – ANVISA. Cabe mencionar que a legislação brasileira não determina parâmetros

microbiológicos de bebidas alcoólicas, uma vez que o próprio álcool se torna uma substância que dificulta o desenvolvimento de microrganismos, porém, o monitoramento microbiológico dos produtos é extremamente importante, garantindo cada vez mais segurança dos consumidores (50).

4 CONCLUSÕES

- As matérias-primas utilizadas para elaboração da bebida desmontaram potencial de qualidade físico-química com base na legislação brasileira para polpa de frutas e dados encontrados na literatura;
- A bebida fermentada atendeu aos critérios físico-químicos e microbiológicos determinados em legislações brasileiras vigentes;
- O fermentado alcoólico de extrato do caroço de açaí torrado enriquecido com carambola demonstrou-se promissor para o aproveitamento tecnológico dos resíduos agroindustriais da cadeia produtiva do açaí e diminuição do desperdício da carambola.

5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à PROPPG do IFPA pelo fomento financeiro concedido.

6 REFERÊNCIAS

1. MIRANDA, L. V. A.; MOCHIUTTI, S.; CUNHA, A. C.; CUNHA, H. F. A. Descarte e destino final de caroços de açaí na Amazônia Oriental-Brasil. *Ambiente & Sociedade*, v. 25, e01382, 2022.
2. CONAB. Análise mensal: Açaí (fruto). Brasília-DF: CONAB, 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/infor-agro/analises-do-mercado-agropecuário-extrativista/analises-do-mercado/histórico-mensal-de-acai/item/download266626f6c9579f91de83fea8a5f692d44f3a>. Acesso, em: 01 jan. 2023.
3. MONTEIRO, A. F.; MIGUEZ, I. S.; SILVA, J. P. R. B.; SILVA, A. S. da. High concentration and yield production of mannose from açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds via mannanasecatalyzedhydrolysis. *Scientific reports*, v. 9, 10939, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47401-3>.
4. COSTA, N. C.; SILVA, A. C.; CORREA, N. C. F.; BOTELHO, V. A. Caracterização físico-química do caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) torrado destinado à produção de uma bebida quente. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 2, p. 73-82, 2021.
5. BARROS, S. K. A.; PEREIRA, A. S.; SILVA, S. M. T.; COSTA, D. M.; PIRES, C. R. F.; SOUZA, A. R. M. Avaliação físico-química e sensorial de biscoito tipo cookies enriquecidos com farinha do caroço e polpa do açaí. *DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v. 7, n. Especial, p. 72-81, 2020.
6. LAKMAL, K.; YASAWARDENE, P.; SENEVIRATNE, S. L. Propriedades nutricionais e medicinais da fruta star (*Averrhoa carambola*): Uma revisão. *Food Science & Nutrition*, v. 9, n. 3, p. 1810-1823, 2021.
7. KUNTANG, W.; NUENGCHAMNONG, N.; LAMLERTTHON, S. Metabolite Profile, Antioxidant Activity and Anti-Candida Activity of Fermented Star Fruit Bioextract (*Averrhoa carambola* L.). *Trends in Sciences*, v. 19, n. 10, p. 4183-4183, 2022.

8. CÁDIZ-GURREA, M. de la L.; VILLEGAS-AGUILAR, M. C.; LEYVA-JIMÉNEZ, F. J.; PIMENTEL-MORAL, P.; FERNÁNDEZ-OCHOA, A.; ALAÑÓN, M. E.; SEGURA-CARRETERO, A. Revalorization of bioactive compounds from tropical fruit by-products and industrial applications by means of sustainable approaches. *Food Research International*, v. 138, part B, 109786, 2020.
9. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria nº64, de 23 de abril de 2008. Aprovam os regulamentos técnicos para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para as bebidas alcoólicas fermentadas: fermentado de fruta, sidra, hidromel, fermentado de cana, fermentado de fruta licoroso, fermentado de fruta composto e saquê. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 24 de abril de 2008.
10. INSTITUTO ADOLFO LUTZ, Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz. 4aed., 1ª Edição Digital, São Paulo, 1000p., 2008, disponível em: http://www.ial.sp.gov.br/resources/ediorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimento_sial_2008.pdf. Acesso, em: 09 de jan de 2023.
11. SILVA, N; JUNQUEIRA, V; SILVEIRA, N; Manual de métodos de análise microbiológicas de alimentos. Varela, 544p. 1997.
12. Organização Internacional de Normalização (ISO). 2014. Microbiology of the food chain - horizontal method for the enumeration of microorganisms - part 1: Colony count at 30 degrees C by the pour plate technique (ISO 4833-1:2013).
13. Organização Internacional de Normalização (ISO), 2008. Microbiologia dos géneros alimentícios e dos alimentos para animais-métodos horizontais para a enumeração de leveduras e bolores-Parte 1: técnica de contagem de colónias em produtos com actividade hídrica superior a 0,95; ISO 21527-1:2008. ISO, Genebra, Suíça.
14. MELO, P. S.; SELANI, M. M.; GONÇALVES, R. H.; PAULINO, O. J; MASSARIOLI, A. P. ALENCAR, S. M. Açai seeds: an unexplored agro-industrial residue as a potential source of lipids, fibers, and antioxidant phenolic compounds. *Ind Crops Prod*, v. 161, 11320, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.113204>. Acesso, em: 15 de Jan de 2023.
15. ARRUDA, J. C.B. et al. Açai seed bran in the feed of slow-growth broilers. *Acta Amaz.* 48, 298–303, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201703994>.
16. COSTA, N. C. et al. Caracterização físico-química do caroço de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) torrado destinado à produção de uma bebida quente. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 2, p. 73-82, 2021.
17. MARTINS, G. R. et al. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Seed Extracts from Different Varieties: A Source of Proanthocyanidins and Eco-Friendly Corrosion Inhibition Activity. *Molecules*, v. 26, n. 11, p. 3433, 2021.
18. NETO, D. F. M. et al. Proteomic changes associated with the development of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) seeds. *Proteomics*, p. 2200251, 2022.
19. SILVA, C. O. et al. Uso das fibras do caroço do açaí como fase dispersa em compósitos de matriz termoplástica: uma revisão bibliográfica Use of açai lump fibers as dispersed phase in thermoplastic matrix composites: a bibliographic review. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 4, p. 28654-28679, 2022.
20. SOUZA O. D. H. et al. A importância de uma alimentação saudável como forma de aumento da imunidade através das vitaminas e minerais. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 12, p. e103101220305-e103101220305, 2021.

21. FOUZ, P.; SANTOS, I. A. P.; FERRACIOLI, M. H. Custo da suplementação de bovinos nelore com caroço de açaí no período de transição águas-seca. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 4, n. 3, p. 3607-3623, 2021.
22. DINIZ GUERI, M. V. et al. Análise de estabilidade de um protótipo de biodigestor anaeróbio mesofílico digerindo resíduo alimentar. *Revista Geama*, v. 7, n. 3, p. 05–12, 2021. Disponível em: <http://ead.codai.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4298>. Acesso, em: 10 de jan de 2023.
23. MARINHO N.; et al. (2018). *Manual de Métodos de Análises Microbiológicas de Alimentos e Água*. 3. Ed. São Paulo: Varela.
24. ARAÚJO, Fábio Fernandes et al. Polifenóis e suas aplicações: Uma abordagem em química alimentar e potencial de inovação. *Química alimentar*, v. 338, p. 127535, 2021.
25. GARCIA-AMOEDO, L. H.; ALMEIDA-MURADIAN, L. B. Comparação de metodologias para a determinação de umidade em geleia real. *Química Nova*, v. 25, n. 4, 676- 679, 2002.
26. MARQUES, I. S. Determinação de características físico-químicas da polpa in natura do Biribá (Rollinia mucosa (Jacq.) Ball) do Estado de Rondônia – Brasil. 2011. Ariquemes, 2013.
27. ALMEIDA, M. B. et al. Caracterização física e química dos frutos de carambola (Averroa carambola L.) Produzidos em Petrolina – PE. *Revista Seminário de Visu*, v.1, n.2, p. 116-125. 2011.
28. TORRES, L. B. V.; FIGUEIREDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. Caracterização química de carambolas produzidas em região semi-árida do nordeste brasileiro. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, edição especial, n.1, p. 43-54, 2003.
29. BRASIL. Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 10 de Jan 2023.
30. OLIVEIRA, H. de J. S. et al. Ciência e tecnologia de alimentos. *Ciências e agrotecnologia*. vol.27 no.5 Lavras Oct. 2003.
31. OLIVEIRA, et al. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 19, n. 3, p. 326-332, 1999.
32. OLIVEIRA, M. T. R.; et al. Características Biométricas e físico-químicas do fruto, morfologia da semente e da plântula de Averrhoa carambola L. (Oxalidaceae). *Rev. Bras. de Sementes*, v.33, n.2, p.251-260, 2011.
33. OLIVEIRA, M. T. R.; et al. Avaliação do vigor de sementes de carambola em função da secagem e do armazenamento. *Rev. Bras. Eng. Ambiental*, v.13, n.4, p.477-482, 2009.
34. ALVES, E.; SIMOES, A.; DOMINGUES, M. R. As sementes de frutas e seus óleos como fontes promissoras de lipídios de valor agregado a partir de subprodutos agroindustriais: teor de óleo, composição lipídica, análise lipídica, atividade biológica e potenciais aplicações biotecnológicas. *Críticas em Ciência e Nutrição Alimentar*, v. 61, n. 8, p. 1305-1339, 2021.
35. SANTOS, C. X. Caracterização físico-química e análise da composição química da semente de goiaba oriunda de resíduos agroindustriais. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 2015 3366 Itapetinga – BA: UESB, 2011.
36. DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. *Química de alimentos de Fennema*. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

37. VENTURINI FILHO, W. G. Bebidas alcoólicas: Ciência e Tecnologia. vol. 1, 2ª. ed. São Paulo: Blucher. 2016.
38. ALBUQUERQUE, M. D. B.; RODRIGUES, R. B.; SILVA, C. G.; LOPES, J. D. Kinetics of alcoholic fermentation of sapodilla juice. In: Simpósio Nacional de Bioprocessos, 21. SIMPÓSIO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE BIOMASSA, 12, Aracaju: Sergipe, 2017.
39. SANTOS, E. A. DA S., MOREIRA, T. L., ROSA, R. D. DE A., SOUZA, D. S., PEREIRA, E. DA S., MÔES, R. S., FONTES, R. F., & REIS, M. F. T. Bebida alcoólica fermentada de goiaba (*Psidium guajava* L.): processamento e caracterização. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 5, p. 31785-31798, 2020.
40. FONSECA, A. A. O.; DE LIMA, J. G. F.; DA SILVA, S. M. P. C.; DE CARVALHO COSTA, M. A. P.; DE SOUZA H. D.; BARBOSA, G. V. V.; DE JESUS, R. S. Produção, caracterização e avaliação sensorial de fermentado alcoólico de manga (*Mangifera indica* L.) variedade “Carlota”. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 46176-46192, 2020.
41. BARBOSA, P. S.; ANDRADE, E. de S.; JESUS, J. H. de; BRONDANI, F. M. M.; VIEIRA, R. Análise e quantificação do teor alcoólico do fermentado artesanal de jabuticaba. *Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente*, v. 8, n. 1, p. 16-32, 2017.
42. BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº34 de 29 de novembro de 2012. Estabelece a complementação dos padrões de identidade e qualidade para bebidas fermentadas. Brasília. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2012.
43. TORRES NETO, A. B.; SILVA, M. E.; SILVA, W. B.; SWARNAKAR, R.; SILVA, F. L. H. Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.). *Química Nova*, v. 29, n. 3, p. 489-492, 2006.
44. BESSA, M. A. D.; OLIVEIRA, E. N. A. de; FEITOSA, B. F.; FEITOSA, R. M.; ALMEIDA, F. L. C.; OLIVEIRA NETO, J. O. de. Bebida alcoólica fermentada de melão (*Cucumis melo* L.): processamento e caracterização. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 21, 2018.
45. ALMEIDA, M. M.; TAVARES, D. P. S. A.; ROCHA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. C.; SILVA, F. L. H.; MOTA, J. C. Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2006.
46. AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA U. de A. *Biotechnology industrial: Biotechnology na produção de alimentos*. São Paulo: Blücher. 2001. 544 p.
47. PAULA, B.; CARVALHO FILHO, C. D.; MATTA, V. M.; MENEZES, J. S.; LIMA, P. C.; PINTO, C. O.; CONCEIÇÃO, L. E. M. G. Produção e caracterização físico-química de fermentado de umbu. *Ciência Rural*, v. 42 n. 9, p. 1688-1693, 2012.
48. PEREIRA, A. S. et al. Produção de fermentado alcoólico misto de polpa de açaí e cupuaçu: aspectos cinéticos, físico-químicos e sensoriais. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 8, n. 1, p. 1216-1226, 2014.
49. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da diretoria colegiada-RDC nº 724, de 01 de julho de 2022, dispõe sobre os padrões microbiológicos dos alimentos e sua aplicação. Disponível em: 33c61081-4f32-43c2-9105-c318fa6069ce (anvisa.gov.br). Acesso, em: 03 de jan de 2023.
50. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da diretoria colegiada-IN nº 161, de 06 de julho de 2022, estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. Disponível em: b08d70cb-add6-47e3-a5d3-fa317c2d54b2 (anvisa.gov.br). Acesso, em: 10 de jan de 2023.

Capítulo 41

Doi.org/10.53934/9786599965814-41

INOVAÇÕES NA CONSERVAÇÃO DE CARNES E PRODUTOS CÁRNEOS: UMA BREVE REVISÃO SOBRE ÓLEOS ESSENCIAIS EM EMBALAGENS ATIVAS

Clara Suprani Marques ^{1,2*}; Amanda Camilo Graciano ¹; Márcia Teixeira Bittencourt ^{1,2}; Tarsila Rodrigues Arruda ²; Kamilla Soares de Mendonça ¹; Rafaela Corrêa Pereira ¹; Taíla Veloso de Oliveira ²

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – IFMG Campus Bambuí; ²Universidade Federal de Viçosa – UFV; *Autora correspondente (Corresponding author) – supraniclara@gmail.com

Resumo: Carnes e seus derivados são produtos muito perecíveis devido a sua composição e características. Dentre os métodos de conservação empregados para garantir uma maior vida de prateleira e segurança microbiológica, destacam-se os aditivos conservantes e antioxidantes. Nitrito, nitrato e antioxidantes sintéticos são aprovados por órgãos regulamentadores e usados em uma grande variedade de produtos. No entanto, tais compostos têm sido associados a possíveis problemas de saúde. Dessa forma, existe uma demanda crescente dos consumidores pela substituição desses aditivos por outros mais naturais e menos prejudiciais à saúde. Nesse sentido, óleos essenciais (OEs) têm sido estudados como substitutos em potencial dos aditivos sintéticos devido ao seu apelo natural e propriedades bioativas. Uma forma promissora de aplicação de OEs como conservantes nesses alimentos é como embalagem ativa, em que o OE não é adicionado diretamente na matriz alimentícia, mas sim na embalagem que entrará em contato com o produto, difundindo-se aos poucos para atuar como conservante no alimento. À vista disso, essa breve revisão tem por objetivo apresentar ao leitor conceitos gerais em relação aos OEs e embalagens ativas, bem como fazer um apanhado das pesquisas mais recentes publicadas sobre o assunto, buscando assim discutir os resultados positivos alcançados e os desafios detectados pelos pesquisadores da área.

Palavras-chave: atividade antimicrobiana; atividade antioxidante; compostos bioativos; conservação de alimentos; embalagens de alimentos

Abstract: Meat and meat products are very perishable items due to their composition and characteristics. Among the conservation methods used to ensure a longer shelf life and microbiological safety, preservative and antioxidant additives stand out. Nitrite, nitrate, and synthetic antioxidants are approved by regulatory agencies and used in a variety of products. However, such compounds have been linked to possible health problems. Thus, there is a growing demand from consumers to replace these additives with compounds more natural and less harmful to health. In this sense, essential oils (EOs) have been studied as potential substitutes for synthetic additives due to their natural appeal and bioactive properties. A promising way of applying EOs as preservatives in these foods is as active packaging, in which the EO is not added directly to the food matrix, but to the packaging that will come into contact with the product, gradually migrating to act as a

preservative in the food. In view of such information, this brief review aims to present the reader with general concepts regarding EOs and active packaging, as well as to make an overview of the most recent researches published on the subject, thus seeking to discuss the positive results achieved and the challenges detected by researchers of the area.

Key Word: antimicrobial activity; antioxidant activity; bioactive compounds; food preservation; food packaging

INTRODUÇÃO

O uso de aditivos conservantes e antioxidantes em alimentos visando estender a vida de prateleira do produto e garantir sua segurança microbiológica não é algo recente, mas cuja prática está documentada ao longo da História (1). Quando falamos de carnes e produtos cárneos, conservantes como nitrito e nitrato (popularmente conhecidos como sais de cura), ácidos fracos e seus sais, e antioxidantes sintéticos, como o galato de propila e o butil hidroxianisol (BHA), aparecem com frequência em formulações de produtos diversos, desde peças curadas até embutidos. No entanto, embora tais compostos assegurem que esses produtos se mantenham comercializáveis por mais tempo, bem como garantem ao consumidor segurança frente a microrganismos patogênicos, tais como o *Clostridium botulinum*, pesquisas indicam que sua presença em alimentos pode ter consequências prejudiciais em relação à saúde dos consumidores (1-3).

O consumo de alimentos naturais é uma tendência observada no mercado consumidor há alguns anos e que apresenta crescimento. Maior saudabilidade, bem-estar e equilíbrio norteiam esse novo comportamento de consumo, o que resulta em uma maior preferência por ingredientes mais naturais em relação aos sintéticos. Além disso, percebe-se maior interesse dos consumidores pela origem dos produtos e preocupação com a incidência de doenças, como o câncer, hipertensão, obesidade e diabetes (3,4). Com o objetivo de atender a essa nova e crescente demanda, a indústria de alimentos busca substitutos naturais adequados, tanto do ponto de vista sensorial quanto microbiológico, aos aditivos comumente utilizados, bem como novas tecnologias de conservação (4,5).

Nesse contexto, o estudo de ervas aromáticas e condimentos para a conservação de carnes e seus derivados tem sido impulsionado pela característica natural e às interessantes propriedades biológicas que esses compostos apresentam. Por exemplo, óleos essenciais (OEs) extraídos de plantas diversas, principalmente de ervas e condimentos há muito tempo utilizados em alimentos, tais como orégano, alho, alecrim e manjeriço, possuem compostos responsáveis não apenas em conferir aroma e contribuir com o sabor do produto, mas também mostram interessante ação antimicrobiana e antioxidante. Dessa forma, pesquisadores da área de Ciência de Alimentos veem neles potencialidade como substitutos de alguns aditivos convencionais (1-3,6).

A tecnologia de embalagens ativas é outro tópico que merece destaque nesse assunto. Diferentemente das embalagens convencionais, que são passivas, ou seja, não interagem com o produto que contêm, as embalagens ativas são projetadas de forma que sua interação com o produto não é apenas desejável, mas necessária. Podem atuar de diversas formas, removendo compostos indesejáveis do alimento ou do *headspace* da embalagem, como oxigênio e exsudados líquidos, ou transferindo compostos presentes

na própria embalagem para o alimento e que irão exercer atividade antimicrobiana, antioxidante e/ou aromática (7). Nesse sentido, estuda-se a incorporação de aditivos na matriz polimérica da embalagem ou em elementos que compõem a embalagem (por exemplo sachês, almofadas e etiquetas) de forma a transformar uma embalagem convencional em uma embalagem ativa. Uma das vantagens de tal tecnologia consiste justamente em reduzir ou evitar a adição de aditivos diretamente na formulação do alimento, uma vez que serão incorporados na embalagem e irão difundir gradativamente para o produto. Devido ao seu forte apelo natural e atividades biológicas, os OEs destacam-se entre as substâncias estudadas como possíveis aditivos em embalagens ativas (8,9).

No contexto apresentado, essa breve revisão visa atualizar o leitor quanto às pesquisas mais recentes no que concerne o estudo de embalagens ativas elaboradas com OEs na conservação de carnes e seus derivados, visto que compreendem um grupo alimentício de grande importância econômica no Brasil. Serão apresentados os conceitos gerais de OEs e embalagens ativas, obstáculos verificados para a implementação da tecnologia e estratégias avaliadas para contornar as adversidades detectadas. Além disso, resultados positivos e negativos encontrados pelas pesquisas serão apresentados e discutidos.

ÓLEOS ESSENCIAIS: CONCEPÇÕES GERAIS

Óleos essenciais são misturas complexas de compostos de natureza hidrofóbica que podem ser extraídos de diversas partes vegetais, tais como folhas, flores, cascas, rizomas e sementes. Embora denominados óleos e extraídos de plantas, tais substâncias não podem ser confundidas com os óleos vegetais, como óleo de soja e canola. Ao passo que óleos vegetais são constituídos majoritariamente por glicerídeos, os OEs contêm terpenos, compostos fenólicos, polissulfetos, dentre outras moléculas voláteis e de baixa massa molecular em sua composição (10,11).

Atualmente, são estudados diferentes métodos de extração de OEs, cada um com suas vantagens e desvantagens. Hidrodestilação é um dos principais métodos aplicados tanto em pesquisas quanto comercialmente, e pode ser associado a outras técnicas, como ultrassom e micro-ondas, de forma a aumentar o rendimento do processo (12). É um método relativamente simples e de baixo custo, no entanto, por envolver altas temperaturas, pode ter como consequência a degradação de alguns componentes. O método de prensagem a frio é bastante usado para extração de OEs de cascas de frutas cítricas e sua grande vantagem é o fato de não utilizar temperaturas elevadas. A extração por fluido supercrítico é uma abordagem mais recente que também não utiliza elevadas temperaturas. Permite a regulagem de parâmetros, como temperatura, pressão e fluxo de fluido, de forma a otimizar o sistema em termos de rendimento ou de extração de algum componente de interesse específico. Apesar do alto custo de investimento, tanto em maquinário quanto em mão de obra especializada, também é uma tecnologia já utilizada comercialmente (12). Quando objetivamos extrair OEs para uso alimentício, esses três métodos são preferencialmente utilizados por não envolverem o uso de solventes orgânicos, tais como éter e hexano, que apresentam elevada toxicidade e são nocivos ao meio ambiente.

Independentemente do tipo e da parte do vegetal, da forma de extração e da composição, os OEs são substâncias voláteis, aromáticas, de odor forte e característico, de baixa solubilidade em água e de elevada instabilidade frente a fatores externos como temperatura, oxigênio e luz, degradando-se com facilidade (13,14). Além disso, a depender da sua composição, podem apresentar atividade biológica de interesse para diferentes setores da indústria. Na área médica e farmacêutica, propriedades anti-inflamatórias, anticancerígenas e antimicrobianas são largamente investigadas. Na área de cosméticos, o interesse maior é no aroma desses compostos para a produção de óleos corporais, hidratantes, sabonetes, dentre outros produtos. Na área de Ciência de Alimentos, as propriedades aromáticas, antimicrobianas e antioxidantes dos OEs têm sido exploradas pela indústria com o intuito de usar essas substâncias como substitutos naturais dos aditivos artificiais, atendendo a uma demanda crescente dos consumidores em relação à maior naturalidade dos produtos (1,3,4,15).

CARACTERÍSTICAS E CONSERVAÇÃO DE CARNES E PRODUTOS CÁRNEOS

Carnes e seus derivados compreendem um grupo alimentício de grande importância para a economia nacional. Além do consumo interno, o Brasil destaca-se no mercado internacional como exportador de carne bovina, suína e de aves. De acordo com dados do Centro de Inteligência da Carne Bovina (CiCarne), apesar da incerteza decorrente da pandemia de Covid-19 e da crise econômica que se sucedeu, é esperado, entre 2021 e 2025, um crescimento – embora discreto – a nível mundial no consumo de proteína de origem animal (16).

Independentemente do animal que lhe deu origem, a carne é um alimento extremamente perecível devido à sua composição e suas características. Seu elevado teor proteico, alta atividade de água e pH próximo a neutralidade fazem desse alimento um meio rico para a proliferação de microrganismos diversos, patogênicos ou deterioradores. Além disso, a presença de lipídeos possibilita a ocorrência de reações oxidativas, resultando em perdas sensoriais, nutricionais e, conseqüentemente, econômicas (3,5,17). Dentre os métodos de conservação aplicados, o uso de aditivos conservantes e/ou antioxidantes, bem como o uso de um eficiente sistema de embalagens, mostram sucesso na conservação desse tipo de produto, estendendo sua vida de prateleira.

O uso de nitrito e nitrato como conservante em produtos cárneos é uma prática centenária. Devido a sua ação frente a patógenos alimentares, principalmente *C. botulinum*, esses aditivos são considerados obrigatórios pela legislação brasileira em uma série de produtos, respeitando-se o limite máximo em cada caso (18,19). Além disso, sua contribuição para as características sensoriais dos produtos, com produção do pigmento róseo nitroso hemocromo, é imprescindível para a aceitação desses alimentos pelos consumidores (19). No entanto, a presença de nitrito/nitrato em derivados cárneos tem sido associada a formação de compostos potencialmente carcinogênicos, as nitrosaminas, aumentando a rejeição desses produtos por uma parcela dos consumidores (20). Nesse sentido, são investigadas alternativas para a substituição total ou parcial desses compostos. No entanto, encontrar uma tecnologia ou um conjunto de tecnologias capaz de atuar tanto na segurança microbiológica quanto na qualidade sensorial tem se mostrado um desafio.

Em se tratando de antioxidantes, a legislação brasileira permite uma série de aditivos em derivados cárneos, tais como ácidos fracos e seus sais, bem como antioxidantes sintéticos (galato de propila, BHA e butil hidroxitolueno (BHT)) (18). A ocorrência de oxidação em carnes e derivados depende de uma série de fatores: espécie do animal, tipo de corte, composição de ácidos graxos, presença de agentes pró-oxidantes (como ferro, por exemplo), assim como parâmetros externos relacionados ao armazenamento do produto (luminosidade, temperatura, contato com oxigênio) (3,5). O uso de antioxidantes é importante pois retarda a ocorrência de rancificação e, conseqüentemente, o aparecimento de alterações indesejáveis na cor, textura, sabor, odor e parâmetros nutricionais. Dessa forma, tais aditivos contribuem para uma maior vida de prateleira do alimento. No entanto, embora autorizados pelos órgãos regulamentadores para uso em alimentos, estudos indicam que o consumo exagerado de produtos contendo antioxidantes sintéticos ou a adição desses aditivos em concentrações superiores às estabelecidas podem ter conseqüências danosas para o organismo humano (3). Portanto, o estudo de possíveis substitutos naturais para os antioxidantes sintéticos é relevante para a conservação dos alimentos sem comprometimento à saúde do consumidor.

Nesse contexto, alguns OEs destacam-se devido ao apelo natural, ao status “geralmente reconhecido como seguro” (GRAS) e ao potencial bioativo, podendo apresentar, concomitantemente, atividade antioxidante e antimicrobiana. Compostos majoritários extraídos de diferentes OEs, tais como eugenol (cravo, pimenta da Jamaica), cinamaldeído (canela), carvacrol (orégano), alil isotiocianato (mostarda) e polissulfetos (alho) são descritos na literatura como agentes antimicrobianos, atuando frente um amplo espectro de microrganismos, e antioxidantes (4,6,8,11,13,21-24). Ademais, sua associação com embalagens para obtenção de embalagens ativas pode apresentar maiores vantagens do que a adição direta do OE na matriz alimentícia (25).

ESTRATÉGIAS PARA INCORPORAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS EM EMBALAGENS

Nos últimos anos, o setor de embalagens de alimentos tem sofrido uma série de transformações amparadas por inovações tecnológicas. Uma dessas inovações consiste na reformulação do clássico conceito de embalagem como um material passivo e inerte, fazendo dele um material com características ativas em que é desejável sua interação com o alimento contido. Essa interação embalagem-alimento resulta em benefícios para o produto, para o consumidor e para a indústria, como o aumento da vida de prateleira do alimento, a manutenção ou a melhoria de características sensoriais e maior segurança microbiológica (25).

As embalagens que possuem essa característica de interagir positivamente com o produto, com conseqüente melhoria para a qualidade do produto, são chamadas embalagens ativas. Nesse contexto, OEs extraídos de plantas diversas são considerados como potenciais aditivos em embalagens, atuando como agentes conservantes, aromatizantes e/ou antioxidantes (7). Na literatura, resultados promissores têm sido divulgados quanto à incorporação de OEs em embalagens ativas. Tal incorporação pode se dar por meio da simples adição do OE diretamente à dispersão filmogênica. Dessa forma, após a evaporação do solvente via *casting* ou polimerização, o material terá os componentes do OE espacialmente arranjados entre as cadeias poliméricas (21,26). Outra forma de promover a incorporação de OEs e/ou seus componentes ativos é via extrusão,

revestimento (*coating*) ou enxertia (*grafting*) (27-29). Na Figura 1, é possível observar um exemplo de filme polimérico ativo antimicrobiano obtido via *casting* com OE diretamente adicionado à dispersão filmogênica.

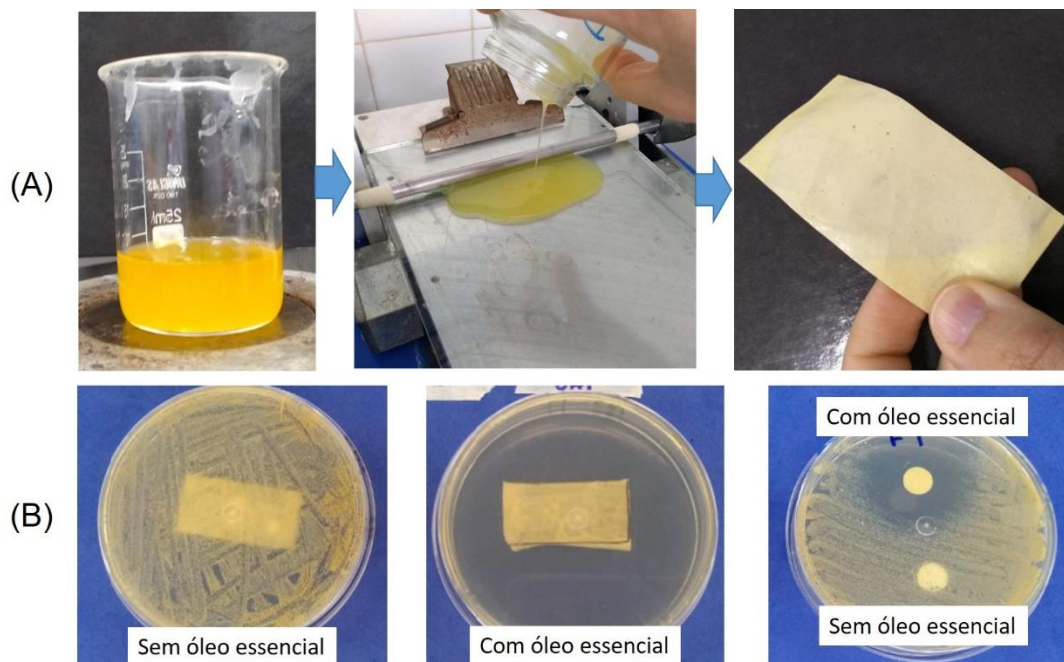


Figura 7 – Filme antimicrobiano de acetato de celulose, zeína e óleo essencial de alho elaborado pelo método de *casting* (A) e testado frente a bactéria *Staphylococcus aureus* (B). Fonte: autoria própria.

No entanto, é importante ressaltar que, embora sejam considerados como potenciais aditivos naturais em alimentos, a instabilidade dos OEs frente a fatores externos é um grande limitante da sua aplicação em embalagens, principalmente ao considerarmos o processo de produção de embalagens, que envolve o uso de temperaturas elevadas em algumas etapas, como a extrusão, por exemplo. Além disso, a própria exposição da embalagem confeccionada ao ambiente externo, por si só, já pode ser suficiente para iniciar a degradação de alguns componentes, afetando negativamente a atividade do material.

De forma a contornar esses obstáculos, são propostas algumas estratégias. A encapsulação de OEs e posterior incorporação das cápsulas na matriz polimérica da embalagem, por exemplo, é uma abordagem interessante e que tem mostrado resultados promissores no que tange a proteção dos componentes dos OEs de fatores externos (12,13). Ademais, permite a liberação controlada do OE da cápsula, ou seja, os componentes bioativos são liberados gradativamente para o alimento, o que prolonga seu tempo de ação (22,23,30). A encapsulação pode ser realizada de inúmeras maneiras, dando origem a vesículas lipossomais, micro- ou nanocápsulas de materiais poliméricos (polissacarídeos ou proteínas), emulsões e nanofibras (12-14,22,24,31,32). A complexação de OEs em ciclodextrinas também é uma técnica bastante investigada e que apresenta vantagens semelhantes ao encapsulamento (33,34). De forma geral, todas essas tecnologias visam fornecer proteção ao OE, garantindo que seus compostos permaneçam ativos por mais tempo. A produção de partículas nanométricas, por sua vez, traz outras vantagens, como o aumento da biodisponibilidade dos OEs e também da sua atividade, por garantir uma maior área superficial (32).

EMBALAGENS ATIVAS: EXTENSÃO DA VIDA DE PRATELEIRA

A extensão da vida de prateleira de carnes e seus derivados é um dos grandes objetivos da conservação de alimentos a fim de reduzir desperdícios e permitir que o produto permaneça comercializável por um período de tempo maior. Nesse sentido, a aplicação de embalagens ativas com OEs pode contribuir com esse propósito. Na Tabela 1, encontram-se listados resultados interessantes obtidos em pesquisas realizadas nos últimos anos com embalagens ativas aplicadas em produtos cárneos diversos.

Tabela 7 – Embalagens ativas ou constituintes ativos elaborados com óleos essenciais aplicadas em produtos cárneos. O símbolo (+) indica resultado positivo; o símbolo (-) indica resultado negativo.

Óleo essencial	Material da embalagem	Produto cárneo	Resultados	Referência
Gengibre	Polietileno de baixa densidade	Carne bovina fresca	Atividade antioxidante (+); Extensão da vida de prateleira (+); Odor forte e característico pode limitar a aplicação (-)	8
Cominho preto	Polietileno, alginato e quitosana (filme multicamadas)	Peito de frango	Atividade antioxidante e antimicrobiana (+); Irregularidades microscópicas na superfície do material (-)	9
Eugenol	Emulgel de microcápsulas de gelatina	Lombo de porco fresco	Menor perda de peso durante armazenamento (+); Atividade antimicrobiana (+)	17
Alecrim e gengibre	Nanocompósito de quitosana e montimorilonita	Carne de frango fresca moída	Preservação da cor ao longo do período de armazenamento (+); Atividade antioxidante (+); Não apresentou atividade antimicrobiana (-);	26
Cominho	Nanocompósito de gelatina e nanopartículas de TiO ₂	Carne de frango fresca	Extensão da vida de prateleira do produto (+); Atividade antimicrobiana e antioxidante (+); Maior aceitação sensorial (+);	35
Alecrim	Goma curdlana e polivinil álcool	Lombo de porco fresco	Extensão da vida de prateleira em 10 dias (+)	36
Pimenteira (<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Schwacke)	Nanopartículas de zeína em matriz de quitosana	Carne moída	Extensão da vida de prateleira do produto quando armazenado sob refrigeração (+); Maior rugosidade do filme (-);	37
Alho	Nanolipossomas incorporadas em	Salsicha	Atividade antimicrobiana e	38

			filmes de proteína de soro de leite e de quitosana		antioxidante (+); Extensão da vida de prateleira do produto (+); Não influenciou aceitação sensorial (+);	
Orégano	Alginato de Sódio	Presunto fatiado			Em combinação com alta pressão hidrostática, reduziu contagem de patógenos (+); Melhora do aroma (+);	39
Manjeriçã	Quitosana	Presunto cozido			Menor contagem de mesófilos aeróbios, bactérias do ácido láctico e enterobactérias (+); Não teve ação contra leveduras (-);	40

Conforme dito anteriormente, é possível que o OE seja adicionado à matriz polimérica da embalagem em sua forma pura ou previamente encapsulado, cada técnica apresentando vantagens e desvantagens, devendo-se, portanto, estudar caso a caso. Marques et al. (41), por exemplo, desenvolveram filmes de acetato de celulose e zeína incorporados com OE de alho em sua forma pura ou complexada em β -ciclodextrina. Os autores verificaram que os filmes elaborados com OE em sua forma pura apresentaram maior atividade *in vitro* do que os filmes contendo OE complexado. Tal fato pode ter ocorrido devido à taxa de liberação do OE do complexo, que possivelmente foi inferior à taxa de crescimento dos microrganismos testados. Por outro lado, Esmaeili et al. (38) desenvolveram filmes comestíveis de quitosana e proteína de soro de leite contendo OE de alho puro ou encapsulado em nanolipossomas. A maior atividade antimicrobiana foi verificada em filmes elaborados com as nanolipossomas. Os autores avaliaram a qualidade de salsichas embaladas a vácuo ao longo de um período de 50 dias e concluíram que os filmes desenvolvidos com as nanolipossomas de OE de alho contribuíram para a extensão da vida de prateleira do produto. Além disso, outro resultado positivo verificado foi em relação às características sensoriais: de acordo com os participantes, a presença do OE não prejudicou os parâmetros sensoriais, principalmente aroma e sabor.

É importante ter em mente também que OEs distintos apresentarão bioatividades distintas a depender, dentre outros fatores, da sua composição. Nesse contexto, Wrona et al. (8) compararam filmes incorporados com OEs extraídos de gengibre e de sementes de rosas quando aplicados na conservação de carne fresca. Filmes elaborados com OE de gengibre apresentaram resultados positivos em relação à extensão de vida de prateleira do produto, ao passo que filmes com OE de sementes de rosas não contribuíram com a conservação da carne. De forma semelhante, Tornuk et al. (27) elaboraram e compararam a atividade de filmes de polietileno linear de baixa densidade incorporados com nanopartículas elaboradas com três componentes majoritários de OEs: timol, eugenol e carvacrol. Os filmes foram testados em linguiça fermentada e em carne fresca. Os autores verificaram que filmes elaborados com timol e carvacrol se sobressaíram quanto a atividades antimicrobiana e antioxidante em comparação ao filme contendo eugenol.

Embalagens ativas podem também ser usadas em conjunto com outras tecnologias promovendo melhorias na qualidade do alimento. Pavli et al. (39), por exemplo, combinaram a tecnologia de embalagens ativas com a aplicação de alta pressão

hidrostática visando a conservação de presunto fatiado. Os autores observaram que, a utilização em conjunto de filme ativo de alginato de sódio incorporado com OE de orégano e alta pressão teve efeito positivo nas características sensoriais do produto quando comparado com a aplicação de cada tecnologia sozinha. Seguindo essa linha de estudo de combinação de tecnologias, Dini et al. (42) investigaram a aplicação concomitante de embalagem ativa com irradiação na conservação de carne bovina refrigerada e armazenada por 21 dias. Os autores verificaram que a utilização de irradiação junto com embalagem de quitosana incorporada com nanoemulsão de OE de cominho reduziu a contaminação microbiana do produto e retardou a ocorrência de alterações físico-químicas, estendendo a vida de prateleira do alimento.

EMBALAGENS ATIVAS: AÇÃO FRENTE PATÓGENOS ALIMENTARES

Garantir a segurança dos consumidores é outro objetivo de grande relevância em conservação de alimentos. De acordo com o Centro de Controle e Prevenção de Doenças dos Estados Unidos (CDC), carnes e derivados são um dos grupos de alimentos mais envolvidos em surtos alimentares nos últimos anos (43). Dentre os microrganismos patogênicos responsáveis pelos surtos, destacam-se *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* O157:H7 e *Salmonella*. Outros microrganismos causadores de intoxicações e infecções alimentares são *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* e *Campylobacter jejuni*. Portanto, é de grande importância investigar o efeito das embalagens ativas desenvolvidas frente a essas bactérias. Na Tabela 2, estão apresentadas algumas embalagens ativas desenvolvidas com OEs bem como as bactérias contra as quais os materiais apresentaram ação antimicrobiana.

Tabela 2 – Embalagens ativas ou constituintes ativos elaborados com óleos essenciais com ação antimicrobiana.

Óleo essencial	Material da embalagem	Microrganismo afetado	Referência
Cominho preto	Polietileno, alginato e quitosana (filme multicamadas)	<i>E. coli</i>	9
Tomilho	Cápsula de caseína e maltodextrina	<i>S. aureus</i> , <i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i> e <i>Salmonella</i> Typhimurium	14
Carvacrol	Lipossoma de lecitina e colesterol	<i>E. coli</i> e <i>S. aureus</i>	24
Pimenta da Jamaica	Sachê de celulose contendo β -ciclodextrina	<i>L. monocytogenes</i>	33
Alil isotiocianato	Acetato de celulose	<i>S. Choleraesuis</i>	34
Pimenteira (<i>Cinnamodredon dinisii</i> Schwacke)	Nanopartículas de zeína em matriz de quitosana	<i>S. Typhimurium</i> e <i>Shigella flexner</i>	37
Alho	Zeína e acetato de celulose	<i>S. aureus</i> e <i>L. innocua</i>	41
Cominho	Emulsão incorporada em filme de quitosana	<i>L. monocytogenes</i> , <i>E. coli</i> O157:H7 e <i>S. Typhimurium</i>	42
Capim-limão	Quitosana	<i>Bacillus cereus</i> , <i>E. coli</i> , <i>L. monocytogenes</i> e <i>Salmonella</i> Typhi	44

Além do perigo que representa aos consumidores, a presença de microrganismos patogênicos acarreta grandes prejuízos para a indústria devido a obrigatoriedade de recolhimento do produto do mercado, pagamento de indenização às vítimas, resposta a processos e possível perda de confiança na marca pelos consumidores. No ano de 2022, por exemplo, pouco mais de 40 toneladas de produtos cárneos da marca Behrmann Meat and Processing Inc. foram retiradas do mercado norte americano devido à suspeita de contaminação por *L. monocytogenes* (46). Em 2021, a empresa italiana Fratelli Beretta anunciou um recall, em âmbito mundial, de aproximadamente 430 toneladas de salame italiano fatiado por estarem relacionados a um surto de *Salmonella* que culminou em 12 hospitalizações apenas nos Estados Unidos (47,48). Nesse cenário, as embalagens ativas antimicrobianas podem ser importantes aliadas no processamento de alimentos, sendo aplicadas sempre em conjunto com as Boas Práticas de Fabricação e sistemas de qualidade a fim de garantir ao consumidor um produto inócuo.

DESAFIOS

Embora embalagens ativas com OEs apresentem potencialidade como tecnologia de conservação de carnes e produtos cárneos, sua implementação com sucesso no mercado enfrenta alguns obstáculos, apresentados de forma resumida na Figura 2.



Figura 2 – Dificuldades enfrentadas quanto ao emprego dos óleos essenciais como aditivos em embalagens ativas.

Um grande desafio com o qual pesquisadores se deparam é o forte odor característico dos OEs, o que pode afetar negativamente a aceitação dos consumidores (8,49). O encapsulamento e complexação desses componentes são frequentemente considerados como estratégias com potencial para atenuar o forte odor dos OEs, bem

como proteger os componentes dos OEs de fatores externos (luz, temperatura e oxigênio). No entanto, é importante estudar com cautela a incorporação dessas partículas na matriz polimérica, uma vez que alterações na rugosidade do material de embalagem e em suas propriedades mecânicas são geralmente verificadas (23,34,37,41). Uma maior rugosidade e menor uniformidade do material pode ter consequências contraproducentes, como favorecimento de adesão microbiana, surgimento de rasgos e furos, comprometimento da barreira a gases e vapor de água e menor resistência mecânica.

Divergências entre resultados *in vitro* e quando testados na matriz alimentícia é outro problema verificado. É comum a embalagem desenvolvida apresentar atividade antimicrobiana ou antioxidante quando testada *in vitro*, contudo, apresentar uma atividade inferior ao ser aplicada no sistema alimentício (21,26,33,49). Tal divergência é usualmente relacionada a composição do alimento, principalmente presença de gordura, que pode exercer um efeito protetor sobre os microrganismos (21,50). Além disso, é possível que os componentes dos OEs interajam com componentes da própria carne, ficando indisponíveis para atuar frente os microrganismos ou como antioxidantes. As ligações bissulfídicas entre os compostos de enxofre presentes em ambos produtos cárneos e alguns OEs, por exemplo, são tipos de interações que podem desfavorecer a ação antimicrobiana dos OEs no alimento (51). Os nutrientes da carne também são um fator relevante, pois podem favorecer a recuperação de microrganismos que sofreram injúria pela ação do OE, tendo o seu crescimento retomado (52). Dessa forma, é proposto aumentar a concentração dos OEs na embalagem a fim de aumentar sua atividade, no entanto, esse aumento na concentração traria desvantagens como um maior custo da embalagem e impacto negativo sobre os parâmetros sensoriais do alimento, principalmente aroma e sabor.

Esses desafios em conjunto com outros problemas verificados no desenvolvimento de novas embalagens e novas tecnologias de embalagens, como a atual dificuldade de produção contínua e de padronização do material, bem como alto custo de algumas matérias-primas, impossibilitam o escalonamento, ou seja, a adaptação da tecnologia de escala laboratorial para a industrial, que seria o próximo passo para a comercialização das embalagens ativas incorporadas com OEs (53,54).

CONCLUSÕES

Embalagens ativas incorporadas com OEs são uma tecnologia interessante na conservação de carnes e seus derivados. Podem ser elaboradas a partir de polímeros diversos (sustentáveis ou sintéticos) e com OEs extraídos de diferentes tipos de plantas. Embora sua implementação no mercado enfrente limitações e alguns obstáculos técnicos, muitas pesquisas reportam resultados positivos em uma série de produtos. Além disso, sugere-se a aplicação da tecnologia em conjunto com outros métodos de conservação, obtendo, dessa forma, um produto com qualidade sensorial, nutricional e microbiológica.

AGRADECIMENTOS

Os autores são gratos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo nº 151071/2022-5) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (código 001).

REFERÊNCIAS

1. Ferysiuk K, Wójciak KM. Reduction of nitrite in meat products through the application of various plant-based ingredients. *Antioxidants*. 2020;9(8):711.
2. Carocho M, Morales P, Ferreira ICFR. Natural food additives: Quo vadis? *Trends Food Sci Technol*. 2015;45(2):284-295.
3. Ribeiro JS, Santos MJMC, Silva LKR, Pereira LCL, Santos IA, Lannes SCS, Silva MV. Natural antioxidants used in meat products: A brief review. *Meat Science*. 2019;148:181-188.
4. Awad AM, Kumar P, Ismail-Fitry MR, Jusoh S, Aziz MFA, Sazili AQ. Overview of plants extracts as natural preservatives in meat. *J Food Process Preserv*. 2022;46:e16796.
5. Gómez I, Janarhanan R, Ibañez FC, Beriain MJ. The effects of processing and preservation technologies on meat quality: sensory and nutritional aspects. *Foods*. 2020;9:1416.
6. Falleh H, Jemaa MB, Saada M, Ksouri R. Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. *Food Chem*. 2020;330:127268.
7. Sharma S, Barkauskaite S, Jaiswal AK, Jaiswal S. Essential oils as additives in active packaging. *Food Chem*. 2021;343:128403.
8. Wrona M, Silva F, Salafranca J, Nerín C, Alfonso MJ, Caballero MA. Design of new natural antioxidant active packaging: Screening flowsheet from pure essential oils and vegetable oils to ex vivo testing in meat samples. *Food Control*. 2021;120:107536.
9. Takma DK, Korel F. Active packaging films as carrier of black cumin essential oil: Development and effect on quality and shelf-life of chicken breast meat. *Food Packag Shelf Life*. 2019;19:210–217.
10. Felipe LO, Bicas JL. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. *Química e Sociedade*. 2016;39(2):120-130.
11. Maurya A, Prasad J, Das S, Dwivedy AK. Essential oils and their application in food safety. *Front Sustain Food Syst*. 2021;5:653420.
12. El Asbahani A, Miladi K, Badri W, Sala M, Aït Addi EH, Casabianca H, El Mousadik A, Hartmann D, Jilale A, Renaud FNR, Elaissari A. Essential oils: From extraction to encapsulation. *Int J Pharm*. 2015;483:220-243.
13. Pongsumpun P, Iwamoto S, Siripatrawan U. Response surface methodology for optimization of cinnamon essential oil nanoemulsion with improved stability and antifungal activity. *Ultrason Sonochem*. 2020;60:104604.
14. Radünz M, Hackbart HCS, Camargo TM, Nunes CFP, Barros FAP, Dal Magro J, Sanches Filho PJ, Gandra EA, Radünz AL, Zavareze ER. Antimicrobial potential of spray drying encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil on the conservation of hamburger-like meat products. *Int J Food Microbiol*. 2020;330:108696.
15. Román S, Sánchez-Siles LM, Siegrist M. The importance of food naturalness for consumers: Results of a systematic review. *Trends Food Sci Technol*. 2017;67:44-57.
16. Dias FRT, Medeiros SR, Malafaia GC. Consumo mundial de carne bovina com crescimento menor nos próximos anos. *Boletim CiCarne*. Ano 2; 2021.
17. Wan J, Pei Y, Hu Y, Ai T, Sheng F, Li J, Li B. Microencapsulation of eugenol through gelatin-based emulgel for preservation of refrigerated meat. *Food Bioprocess Technol*. 2020;13:1621–1632.

18. Ministério da Saúde (BR). Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 272, de 14 de março de 2019. Estabelece os aditivos alimentares autorizados para uso em carnes e produtos cárneos. Diário Oficial da União. 18 mar 2019; Seção 1:194.
19. Jeong JY, Bae SM, Yoon J, Jeong DH, Gwak SH. Effect of using vegetable powders as nitrite/nitrate sources on the physicochemical characteristics of cooked pork products. *Food Sci Anim Resour.* 2020;40(5):831-843.
20. Kaur R, Kaur LL, Gupta TB, Singh J, Bronlund J. Multitarget preservation technologies for chemical-free sustainable meat processing. *J Food Sci.* 2022;87:4312–4328.
21. Marques CS, Arruda TR, Silva RRA, Ferreira ALV, Oliveira WLA, Rocha F, Mendes LA, Oliveira TV, Vanetti MCD, Soares NFF. Exposure to cellulose acetate films incorporated with garlic essential oil does not lead to homologous resistance in *Listeria innocua* ATCC 33090. *Food Res Int.* 2022;160:111676.
22. Barbosa RFS, Yudice EDC, Mitra SK, Rosa DS. Characterization of Rosewood and Cinnamon Cassia essential oil polymeric capsules: Stability, loading efficiency, release rate and antimicrobial properties. *Food Control.* 2021;121:107605.
23. Dias MV, Sousa MM, Lara BRB, Azevedo VM, Soares NFF, Borges SV, Queiroz F. Thermal and morphological properties and kinetics of diffusion of antimicrobial films on food and a simulant. *Food Packag Shelf Life.* 2018;16:15-22.
24. Tavares AG, Andrade J, Silva RRA, Marques CS, Silva JOR, Vanetti MCD, Melo NR, Soares NFF. Carvacrol-loaded liposome suspension: optimization, characterization and incorporation into poly(vinyl alcohol) films. *Food Funct.* 2021;12:6549-6557.
25. Ahari H, Soufiani SP. Smart and active food packaging: insights in novel food packaging. *Front Microbiol.* 2021;12:657233.
26. Pires JRA, Souza GL, Fernando AL. Chitosan/montmorillonite bionanocomposites incorporated with rosemary and ginger essential oil as packaging for fresh poultry meat. *Food Packag Shelf Life.* 2018;17:142–149.
27. Tornuk F, Hancer M, Sagdic O, Yetim H. LLDPE based food packaging incorporated with nanoclays grafted with bioactive compounds to extend shelf life of some meat products. *LWT - Food Sci Technol.* 2015;64(2):540-546.
28. Elegir G, Kindl A, Sadocco P, Orlandi M. Development of antimicrobial cellulose packaging through laccase-mediated grafting of phenolic compounds. *Enzyme Microb Technol.* 2008;43(2):84-92.
29. Muratore F, Barbosa SE, Martini RE. Development of bioactive paper packaging for grain-based food products. *Food Packag Shelf Life.* 2019;20:100317.
30. Surendhiran D, Roy VC, Park J-S, Chun B-S. Fabrication of chitosan-based food packaging film impregnated with turmeric essential oil (TEO)-loaded magnetic-silica nanocomposites for surimi preservation. *Int J Bio Macromol.* 2022;203:650-660.
31. Qin Z, Zou Y, Zhang Y, Wang P, Zhang H. Electrospun pullulan nanofiber loading zanthoxylum bungeanum essential oil/ β -cyclodextrin inclusion complexes for active packaging. *Int J Bio Macromol.* 2022;210:465-474.
32. Zhu Y, Li C, Cui H, Lin L. Encapsulation strategies to enhance the antibacterial properties of essential oils in food system. *Food Control.* 2021;123:107856.
33. Marques CS, Carvalho SG, Bertoli LD, Villanova JCO, Pinheiro PF, Santos DCM, Yoshida MI, Freitas JCC, Cipriano DF, Bernardes PC. β -Cyclodextrin








- inclusion complexes with essential oils: Obtention, characterization, antimicrobial activity and potential application for food preservative sachets. *Food Res Int.* 2019;119:499–509.
34. Marques CS, Dias MV, Soares NFF, Borges SV, Oliveira IRN, Pires ACS, Medeiros, EAA, Alves E. Ultrastructural and antimicrobial impacts of allyl isothiocyanate incorporated in cellulose, β -cyclodextrin, and carbon nanotubes nanocomposites. *J Vinyl Addit Technol.* 2021;1:1-11.
 35. Sayadi M, Amiril S, Radi M. Active packaging nanocomposite gelatin-based films as carrier of nano TiO₂ and cumin essential oil: the effect on quality parameters of fresh chicken. *J Food Meas Charact.* 2022;16:420-430.
 36. Zhang Y, Zhou L, Zhang C, Show L, Du A, Fu JC, Ashokkumar V. Preparation and characterization of curdlan/polyvinyl alcohol/ thyme essential oil blending film and its application to chilled meat preservation. *Carbohydr Polym.* 2020;247:116670.
 37. Xavier LO, Sganzerla WG, Rosa GB, Rosa CG, Agostinetto L, Veeck APL, Bretanha LC, Micke GA, Costa MD, Bertoldi FC, Barreto PLM, Numes MR. Chitosan packaging functionalized with *Cinnamodendron dinisii* essential oil loaded zein: A proposal for meat conservation. *Int J Bio Macromol.* 2021;169:183–193.
 38. Esmaeili H, Cheraghi N, Khanjari A, Rezaeigolestani M, Basti AA, Kamkar A, Aghaee EM. Incorporation of nanoencapsulated garlic essential oil into edible films: A novel approach for extending shelf life of vacuum-packed sausages. *Meat Sci.* 2020;166:108135.
 39. Pavli F, Argyri AA, Skandamis P, Nychas G-J, Tassou C, Chorianopoulos N. Antimicrobial activity of oregano essential oil incorporated in sodium alginate edible films: Control of *Listeria monocytogenes* and spoilage in ham slices treated with high pressure processing. *Materials.* 2019;12(22):3726
 40. Amor G, Sabbah M, Caputo L, Idbella M, De Feo V, Porta R, Fechtali T, Mauriello G. Basil essential oil: Composition, antimicrobial properties, and microencapsulation to produce active chitosan films for food packaging. *Foods.* 2021;10(1):121.
 41. Marques CS, Silva RRA, Arruda TR, Ferreira ALV, Oliveira TV, Moraes ARF, Dias MV, Vanetti MCD, Soares NFF. Development and investigation of zein and cellulose acetate polymer blends incorporated with garlic essential oil and β -cyclodextrin for potential food packaging application. *Polysaccharides.* 2022;3:277-291.
 42. Dini H, Fallah AA, Bonyadian M, Abbasvali M, Soleimani M. Effect of edible composite film based on chitosan and cumin essential oil-loaded nanoemulsion combined with low-dose gamma irradiation on microbiological safety and quality of beef loins during refrigerated storage. *Int J Bio Macromol.* 2020;164:1501-1509.
 43. CDC – Centers for Disease Control and Prevention. Foodborne Outbreaks [Internet]. 2022 [acesso em 2023 Jan 03]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/foodsafety/outbreaks/lists/outbreaks-list.html>.
 44. Lyn FH, Hanani ZAN. Effect of lemongrass (*Cymbopogon citratus*) essential oil on the properties of chitosan films for active packaging. *J Package Technol Res.* 2020;4:33–44.
 45. Silva F, Caldera F, Trotta F, Nerín C, Domingues FC. Encapsulation of coriander essential oil in cyclodextrin nanospheres: A new strategy to promote its use in

- controlled-release active packaging. *Innov Food Sci Emerg Technol.* 2019;56:102177.
46. Food Safety News. Nearly 44 tons of meat products recalled after *Listeria* found in processing facility [Internet]. 2022. [acesso em 2023 Jan 04]. Disponível em: <https://www.foodsafetynews.com/2022/09/nearly-44-tons-of-meat-products-recalled-after-listeria-found-in-processing-facility/>
 47. Food Safety News. Hundreds of tons of Italian meat recalled because of *Salmonella* outbreak [Internet]. 2021. [acesso em 2023 Jan 04]. Disponível em: <https://www.foodsafetynews.com/2021/08/hundreds-of-tons-of-italian-meat-recalled-because-of-salmonella-outbreak/>
 48. CDC – Centers for Disease Control and Prevention. *Salmonella* outbreak linked to Italian-style meats [Internet]. 2022 [acesso em 2023 Jan 04]. Disponível em: <https://www.cdc.gov/salmonella/italian-style-meat-08-21/index.html>
 49. Marques CS, Grillo RP, Bravim, DG, Pereira PV, Villanova JCO, Pinheiro PF, Carneiro JCS, Bernardes PC. Preservation of ready-to-eat salad: A study with combination of sanitizers, ultrasound, and essential oil-containing β -cyclodextrin inclusion complex. *LWT - Food Sci Technol.* 2019;115:108433.
 50. Smith-Palmer A, Stewart J, Fyfe L. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food Microbiol.* 2001;18(4):463–470.
 51. Thomas C, Mercier F, Tournayre P, Martin J-L, Berdagué L-J. Identification and origin of odorous sulfur compounds in cooked ham. *Food Chem.* 2014;155:207-213.
 52. Gill AO, Delaquis P, Russo P, Holley RA. Evaluation of antilisterial action of cilantro oil on vacuum packed ham. *Int J Food Microbiol.* 2002;73(1):83-92.
 53. Souza VGL, Pires JRA, Rodrigues C, Coelho IM, Fernando AL. Chitosan Composites in Packaging Industry—Current Trends and Future Challenges. *Polymers.* 2020; 12(2):417.
 54. Jeevahan JJ, Chandrasekaran M, Venkatesan SP, Sriram V, Joseph GB, Mageshwaran G, Durairaj RB. Scaling up difficulties and commercial aspects of edible films for food packaging: A review. *Trends Food Sci Technol.* 2020;100: 210-222.

Capítulo 42

Doi.org/10.53934/9786599965814-42

EFEITO CURATIVO DO ÓLEO ESSENCIAL DE CRAVO-DA-ÍNDIA NO CONTROLE PÓS COLHEITA DE *MONILINIA FRUCTICOLA*, EM PÊSSEGO

Juliana Ayres de Araújo ; Carlos Henrique Milagres Ribeiro *; Teresa Drummond Correia ; Alex Oliveira Botelho ; Maria Carolina Marinho Nicolau ; Sheila Maria Pereira de Andrade ; Stephanie Regina de Jesus Souza 

*Autor correspondente – Email: caarlos_henriquee_8@hotmail.com

Resumo: Diante das perdas pós-colheita provenientes do surgimento de doenças, a podridão parda se destaca como a mais significativa para a cultura do pêssigo [*Prunus persica* (L.) Batsch], fazendo-se necessário seu controle, que geralmente é realizado via aplicação de produtos químicos. Atualmente, busca-se por novos meios de controle visando uma maior sustentabilidade. Assim, este trabalho objetivou avaliar o efeito do óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) sobre o desenvolvimento do fungo *Monilinia fructicola*, *in vivo*, buscando uma alternativa a aplicação de produtos químicos no controle pós-colheita da podridão parda. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com seis tratamentos e seis repetições, em diferentes concentrações do óleo de cravo-da-índia em água destilada. Os tratamentos consistiram de: 1- Ausência da aplicação do óleo essencial de cravo (testemunha), 2- 0,25%, 3- 0,5%, 4- 0,75%, 5- 1,0%, 6- 1,25%. Realizou-se a inoculação do fungo *Monilinia fructicola* por borrifação, e 15 horas depois, aplicou-se os tratamentos, imergindo os frutos por 30 segundos. As variáveis analisadas, após 7 dias, foram a incidência e severidade da doença. Os resultados demonstraram que o óleo de cravo não foi eficiente no controle de *Monilinia fructicola*.

Palavras-chave: podridão parda; controle alternativo; *Prunus persica* (L.) Batsch.

Abstract: Towards of the post-harvest losses due to the appearance of diseases, brown rot stands out as the most significant for the peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] production, requiring its control, which is usually done by application of chemicals products. Currently, it has been sought for new ways of disease control aiming at greater sustainability. Thereby, the objective of this work was to evaluate the effect of clove essential oil (*Syzygium aromaticum*) on the development of the fungus *Monilinia fructicola*, *in vivo*, searching for an alternative to the application of chemicals in the post-harvest control of brown rot. The experiment was conducted in a completely randomized design (CRD), with six treatments and six replicates at different concentrations of clove oil in distilled water. The treatments consisted of: 1- No application of clove essential oil (control), 2- 0,25%, 3- 0,5%, 4- 0,75%, 5- 1,0%, 6- 1, 25%. The fungus *Monilinia*

fructicola was inoculated by spraying, and 15 hours later, the treatments were applied, immersing the fruits for 30 seconds. The variables analyzed after 7 days were the incidence and severity of the disease. The results demonstrated that clove oil was not efficient in the control of *Monilinia fructicola*.

Key Word: Brot; alternative control; *Prunus persica* (L.) Batsch.

INTRODUÇÃO

O pêssego [*Prunus persica* (L.) Batsch] é originário da China e rapidamente se tornou uma das espécies de clima temperado mais cultivadas em diversas regiões (1, 2). É considerada a oitava fruta mais cultivada mundialmente, sendo a China o principal produtor. O Brasil se encontra como o décimo na produção mundial (3).

No Brasil, a maioria da sua produção se concentra nas regiões Sul e Sudeste, que possuem condições climáticas favoráveis para seu desenvolvimento (4). Os Estados que detêm o maior número de produtores são Rio Grande do Sul, São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais, Paraná (5). Embora o cultivo de pêssego esteja se expandindo para outros Estados brasileiros onde há temperaturas mais elevadas, a área de sua produção reduziu 10,85% entre os anos de 2010 e 2013, no entanto, houve elevação de sua produtividade em 9,8% no mesmo intervalo de tempo (6). Esse aumento se deve a aplicação de tecnologias e melhorias de manejo que visam a adaptabilidade do pêssego a diferentes regiões brasileiras.

A produção do pêssego pode ser encaminhada tanto para o mercado de processamento industrial, quanto para o consumo *in natura*. A demanda da fruta é baixa no país, mas ainda assim a produção nacional não consegue supri-la, necessitando de importações (7) e demonstrando que seu cultivo é um mercado promissor a ser explorado.

Para se estabelecer nesse mercado rentável é preciso lidar com um dos grandes entraves encontrados na persicultura, as perdas decorrentes da pós-colheita. Como uma das suas principais causas está o ataque de agentes patogênicos causadores de podridões, como a podridão-parda, provocada pelo fungo *Monilinia fructicola* (8). Essa é a principal doença da cultura (9) e o método de controle mais utilizado é através da aplicação de fungicidas desde a floração até a pré-colheita (10). Na fase de pós-colheita, há restrição legislativa quanto ao uso de produtos químicos, visto que esses são propícios a resíduos tóxicos nos frutos (11).

A utilização excessiva de produtos químicos pode ocasionar a resistência do patógeno, e, além disso, cada vez mais os consumidores questionam sua aplicação, devido à busca por alimentos saudáveis, livres de resíduos tóxicos (12).

Trabalhos e pesquisas sobre métodos alternativos de controle têm sido elaborados para que essas questões sejam resolvidas, e uma das opções estudadas é o uso de óleos essenciais, que têm demonstrado potencial para a inibição da atividade fúngica, pois apresentam um ou mais compostos responsáveis pelo(s) efeito(s) causado(s) em suas diferentes aplicações, onde um composto majoritário geralmente atua (13).

Atualmente tem se observado trabalhos positivos com a utilização do óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) no controle antimicrobiano (14, 15). Porém, não existem trabalhos que comprovem a afetividade do óleo essencial de cravo-da-índia no desenvolvimento de fungo em pós-colheita do pêssego.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito do óleo essencial de cravo-da-índia sobre o desenvolvimento do fungo *Monilinia fructicola*, *in vivo*, como uma alternativa a aplicação de produtos químicos no controle da podridão parda.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Fitossanidade, situado no Núcleo de Agricultura do Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais - *Campus* Barbacena.

I. Isolamento e cultivo de *M. Fructicola*

O fungo *M. fructicola* foi isolado a partir de frutos mumificados oriundos do pomar de pêsego do Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais - *Campus* Barbacena, realizando-se a identificação do fungo no laboratório de fitossanidade.

Os procedimentos foram executados na câmara de fluxo laminar, atendo-se aos devidos cuidados quanto à assepsia necessária, de acordo com a metodologia descrita para isolamento de fungos fitopatogênicos (16). Os isolados foram cultivados, para seu desenvolvimento, em meio de cultura BDA (batata-dextrose-ágar) e dispostos em incubadora B.O.D (Demanda Bioquímica de Oxigênio) com temperatura de 25° C e fotoperíodo de 12 h. Após 10 dias, realizou-se a repicagem micelial para a obtenção da cultura fúngica pura, até atingir toda a superfície da placa. A cultura pura do fungo continuou armazenada na incubadora por 23 dias.

II. Obtenção dos frutos e inoculação de *M. fructicola*

A aquisição dos pêsegos da cv. Rubimel foi feita através de um pomar comercial da Chácara da Mantiqueira, uma empresa produtora de frutas selecionadas, localizada na BR 040, KM 705 – Galego – Barbacena – Minas Gerais.

Os frutos foram colhidos manualmente no início do mês de novembro, época que caracteriza o início da maturação da cultivar selecionada. Considerou-se a uniformidade de tamanho, cor e ausência de qualquer tipo de injúria ou sintomas de doenças.

A suspensão dos esporos ocorreu via adição de aproximadamente 10 mL de água destilada na cultura fúngica. Utilizando uma alça Drigasliki, raspou-se os conídios e micélio, que foram submetidos a filtração feita no algodão. A solução foi colocada no agitador Vortex por 1 minuto, sob severa agitação. A concentração de inóculo presente na suspensão foi calibrada na câmara de Neubauer para 10⁵ esporos/mL.

Foi realizado somente um ferimento em cada fruto de aproximadamente 5 mm de profundidade e 0,27 mm de diâmetro, feito com uma agulha hipodérmica previamente esterilizada e, em seguida, a área foi demarcada ao seu redor. A inoculação foi feita através de borrifação sobre a área demarcada com o ferimento, até o ponto de escurimento.

Os frutos foram, então, colocados em bandejas plásticas para o acondicionamento em câmara úmida, que foram cobertas com papel filme PVC por aproximadamente 15 horas para garantia da ocorrência da infecção, não havendo ainda a aplicação dos tratamentos.

III. Tratamento com óleo de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*)

O óleo de cravo-da-índia foi adquirido no comércio local de Barbacena-MG. Antes da aplicação do óleo de cravo-da-índia, os frutos foram pesados para obtenção da homogeneidade de peso dos frutos usados no experimento e inoculados.

O experimento constituiu-se por 6 tratamentos, dispostos na Tabela 1.

Tabela 8 – Diferentes concentrações de Óleo essencial de cravo-da-índia no controle pós colheita de *Monilinia fructicola*, em pêssego.

Tratamentos	Concentração (%)
T1 - Ausência da aplicação do óleo essencial de cravo-da-índia	0,0
T2 - Óleo essencial de cravo-da-índia	0,25
T3 - Óleo essencial de cravo-da-índia	0,5
T4 - Óleo essencial de cravo-da-índia	0,75
T5 - Óleo essencial de cravo-da-índia	1,0
T6 - Óleo essencial de cravo-da-índia	1,25

Fonte: Elaborado pelos autores.

Todos as concentrações de óleo de cravo-da-índia foram diluídas em água destilada esterilizada, totalizando 300 mL de solução.

Para aplicação dos tratamentos, os frutos foram imersos na solução final, que foi colocada em um béquer de 1000 mL, sendo um béquer para cada tratamento, durante 30 segundos, sob agitação manual da solução. Os frutos foram retirados da solução e colocados para secagem em papel toalha em temperatura ambiente, e em seguida foram distribuídos individualmente em potes de plástico forrados com papel toalha, que foram colocados de modo aleatório em 6 bandejas plásticas, com 6 repetições em cada uma.

As bandejas foram mantidas em temperatura ambiente.

IV. Parâmetros analisados

Para os parâmetros, considerou-se a avaliação da incidência e a severidade da doença. A incidência foi analisada considerando a presença ou ausência do patógeno. Para a severidade da doença, foram atribuídas notas de 1 a 5 baseando-se na escala visual (17), sendo consideradas as seguintes notas de acordo com a superfície com lesão disposto na Tabela 2.

Tabela 2 – Escala visual da severidade *Monilinia fructicola*,

Nota	% de lesão
1	0
2	1 - 25
3	26 - 50
4	51 - 75
5	> 76

Fonte: (17).

As avaliações foram realizadas após 7 dias da inoculação do fungo. Para tal, observou-se visualmente a presença ou ausência de sintomas e sinais da doença. Considerou-se a presença de micélios com aspecto cotonoso característico para o fungo, bem como a mancha parda, caracterizada por podridão aquosa.

Ressaltando que todas as avaliações foram feitas pelo mesmo avaliador, para

evitar resultados tendenciosos.

O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado (DIC), com 6 tratamentos e 6 repetições, constituindo-se de 36 parcelas experimentais, sendo a unidade experimental constituída de 1 pêsego

Os valores obtidos para os parâmetros analisados, foram submetidos a análise de variância (ANOVA), sendo feita a curva de regressão ($p > 0,05$) e as médias foram comparadas pelo teste *Scott-Knott* a 5% de probabilidade. Para o auxílio dos cálculos estatísticos utilizou-se o programa SISVAR (18).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após os sete dias da inoculação, realizou-se a avaliação dos resultados, cujas análises de variância podem ser observadas na Tabela 3, que demonstraram a existência de significância para a variável incidência ($p > 0,05$), e ausência de significância para a variável severidade ($p > 0,05$). Ambas as médias podem ser observadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Tabela 3 – Análise de variância relacionada aos parâmetros analisados de incidência e severidade de *M. fructicola* em pessegueiro (cv. Rubmel) em função dos diferentes tratamentos na pós-colheita

F.V	G.L.	Incidência	Severidade
Tratamentos	5	7,680*	2,222 ^{ns}
Resíduo	25		
CV(%)		47,27	58,09

Legenda: * - Significativo a 5% de probabilidade, ns - não significativo, CV - coeficiente de variação, FV – fator GL - grau de liberdade. Fonte: autor

Ao analisar os frutos, verificando a presença de sinais e sintomas da podridão parda, a testemunha apresentou melhor resultado com relação a incidência (Figura 1), quando comparada aos demais tratamentos que utilizaram o óleo essencial de cravo-da-índia em concentrações diferentes, sendo sua incidência completamente zerada.

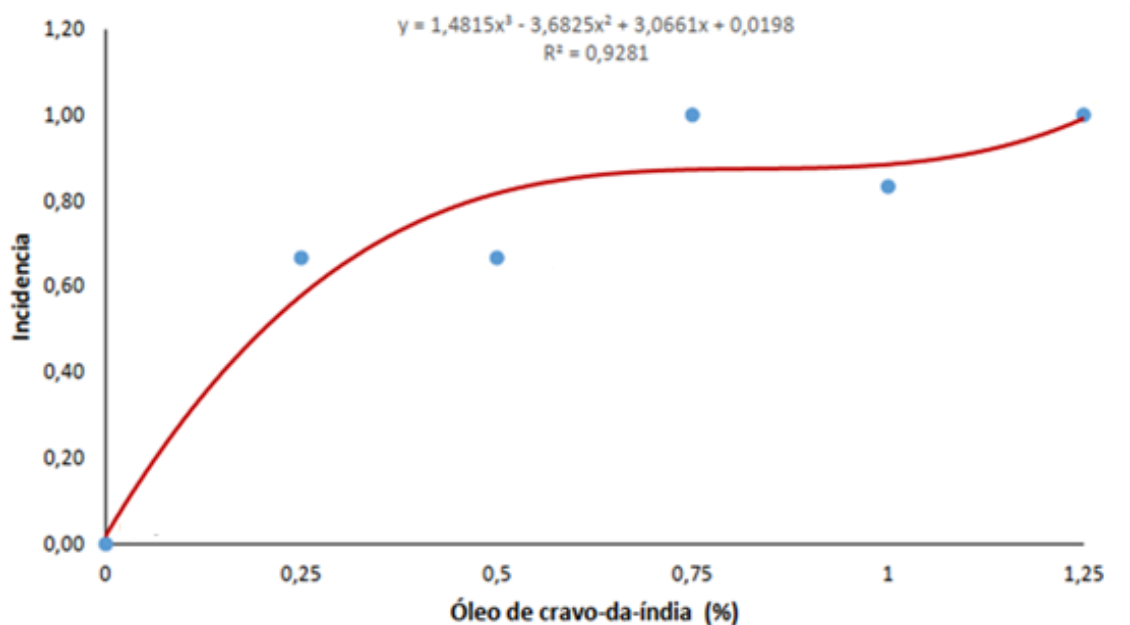


Figura 8 – Incidência do fungo *M. fructicola* em pessegueiro (cv. Rubimel) em diferentes concentrações de óleo essencial de cravo-da-índia.

Embora não tenham sido avaliadas as características físico-químicas dos pêssegos, nas condições experimentais, é importante mencionar que foi possível observar que grande parte dos frutos apresentaram manchas marrons e depressão no epicarpo (Figura 2), logo após a imersão dos mesmos no óleo diluído, tornando-se inviáveis para a comercialização.



Figura 9 –Aspecto visual do epicarpo do pêssegueo (cv Rubimel) logo após a imersão do fruto na concentração de 0,5% de óleo essencial de cravo-da-índia.

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Assim, acredita-se que o óleo de cravo-da-índia reagiu com os frutos ocasionando toxidez, visto que qualquer substância pode ser vista como um agente tóxico,

variando de acordo com as condições de exposição, dose aplicada ou absorvida, tempo e frequência de exposição e modo de aplicação (19).

Alguns frutos foram totalmente recobertos por essas manchas, outros parcialmente, onde foi possível notar a presença de manchas circulares, e o restante não sofreu alteração visual. Ressaltando que essas manchas não se caracterizam como manchas pardas típicas da podridão parda, não sendo aquosas.

Quanto ao surgimento de depressões, essas se concentraram nas regiões onde o fruto apresentou manchas marrons circulares, sendo notável que as mesmas se intensificaram durante o intervalo entre seu surgimento após a imersão do fruto nos tratamentos e o dia da avaliação.

Mesmo não ocorrendo diferença para o parâmetro analisado de severidade, observa-se que houve uma diferença entre as médias da severidade do fungo presente na Figura 3.

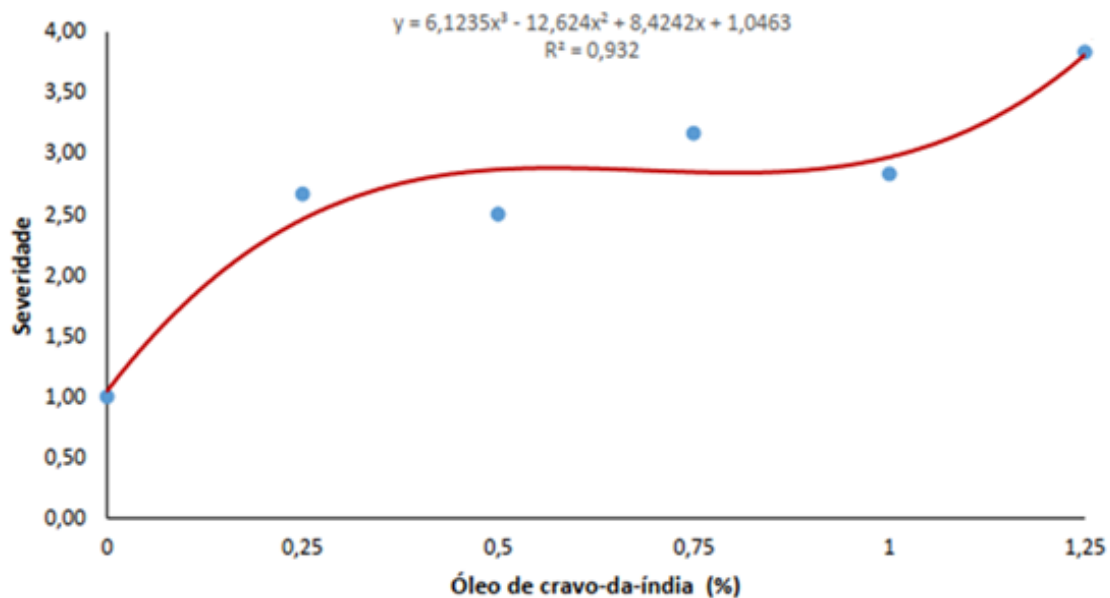


Figura 3 – Severidade do fungo *M. fructicola* em pessegueiro (cv. Rubimel) em diferentes concentrações de óleo essencial de cravo-da-índia.

Além disso, nos mesmos locais referentes à alteração na coloração do epicarpo diante dos tratamentos, observou-se ainda, modificação na coloração do mesocarpo nos frutos (Figura 4). As modificações mencionadas não apresentaram distinção visual de progressão entre as diferentes concentrações do óleo.

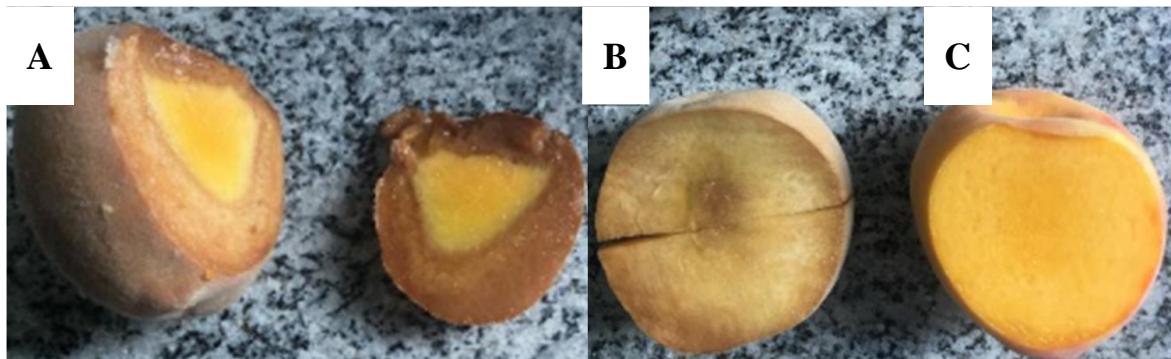


Figura 3 – Aspecto visual interno do pêssgo (cv. Rubimel) após 7 dias da inoculação fúngica sob diferentes concentrações de óleo essencial de cravo-da-índia. Legenda A: T4 - Óleo essencial de cravo-da-índia 0,75%; B: T6 - Óleo essencial de cravo-da-índia 1,25%; C: T1 - Ausência da aplicação do óleo essencial de cravo-da-índia.

Fonte: Acervo pessoal dos autores.

Alguns autores nos remetem a potencialidade do óleo de cravo-da-índia no controle de patógenos (20), que ao testar a concentração de 25% de extrato hidroalcoólico de cravo-da-índia, obteve inibição total de *Fusarium pallidoroseum* até o sétimo dia de incubação do meloeiro.

No experimento analisando o efeito de óleo essencial de cravo-da-índia em goiabeira (21), observou-se que na concentração de 10% do óleo, *in vitro*, houve inibição completa do crescimento micelial. Entretanto, não foi observado controle do micélio, ao se testar a concentração de 2,5%, *in vivo*.

O eugenol, principal componente do óleo de cravo-da-índia, é um fenol volátil, sendo mencionado como o responsável pelos efeitos fungicidas do composto (22). Com relação aos resultados negativos encontrados no presente estudo, a característica de volatilidade pode ser apontada como a possível explicação, visto que, durante o experimento, após a aplicação dos tratamentos contendo o óleo de cravo-da-índia notou-se no ambiente ao decorrer dos primeiros dias, a presença de um forte aroma.\

O resultado deste trabalho, infere que apesar do óleo de cravo-da-índia ser descrito por diversos pesquisadores como uma opção no controle alternativo à variadas doenças, diante das condições e metodologia que este experimento foi desenvolvido, o mesmo atuou de modo antagônico. O óleo essencial de cravo-da-índia, além de não se apresentar como eficiente no controle da incidência e severidade patogênica, demonstrou fitotoxicidade, causando lesões no epicarpo do fruto, favorecendo as condições para que o patógeno se desenvolvesse.

No trabalho utilizando o tratamento com o óleo de cravo-da-índia na concentração de 100 $\mu\text{L}/100\text{ mL}$ de água via perfuração de orifício seguida de inoculação de *Colletotrichum musae* após 12 horas de incubação (23), constataram que as cascas da maioria das bananas ficaram completamente escuras na maioria das repetições, provavelmente devido a alguma atividade fitotóxica desse óleo na concentração que foi testada. Já em estudo realizado com óleos essenciais do cravo-da-índia, objetivando a qualidade de feijão-fava (24), os autores verificaram que na concentração de 2 mL. L^{-1} , atuou de modo prejudicial a planta, reduzindo a qualidade fisiológica das sementes.

O não desenvolvimento da doença na testemunha pode ser justificada através da investigação de tratos culturais no pomar de origem dos frutos, onde verificou-se a aplicação

do produto químico inorgânico Kumulus® DF, que atua contra o desenvolvimento de agentes patogênicos externos.

No experimento visando alternativas do controle pós-colheita da podridão-parda e da podridão-mole em frutos de pessegueiro (25), ao aplicarem o óleo de cravo-da-índia na concentração de 0,01% no tratamento pós-colheita do pêssego, não obteve redução da incidência e nem da severidade da podridão-parda, sendo suas médias maiores do que as apresentadas pela testemunha.

Outro fator passível de contribuição para que o óleo de cravo-da-índia não controlasse o fungo *M. fructicola*, deve-se a suas características de instabilidade diante de fatores como a presença de calor, ar, luz e umidade, o que pode gerar a rápida evaporação de seus componentes (23).

Em reação aos efeitos preventivos e curativos, é provável que o óleo de cravo-da-índia se sobressaia melhor diante do efeito preventivo, em meio de cultura antes da inoculação, do que perante efeito curativo, com a imersão dos frutos e contaminação provenientes do campo (26).

Os trabalhos realizados em âmbito de controle alternativo utilizando óleos essenciais *in vivo* ainda são escassos, havendo ampla diversidade quanto a metodologia aplicada, o que torna difícil a formação de uma tomada de decisão concisa.

Sua eficiência tende a variar de acordo com o óleo essencial escolhido, metodologia aplicada, patógeno alvo e susceptibilidade da variedade que receberá o tratamento. E, mesmo que haja o controle da doença, faz-se necessária uma metodologia que mantenha os aspectos físico-químicos da planta.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que o óleo essencial de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*) não foi efetivo no controle de *Monilinia fructicola* na pós-colheita.

Além disso, o efeito causado pelo óleo de cravo-da-índia no epicarpo e mesocarpo tornaram os pêssegos inviáveis para comercialização, visto que os consumidores tendem a comprar pelo aspecto visual do fruto.

Diante do exposto trabalho, considerando o método utilizado, o óleo de cravo-da-índia não se apresenta como uma alternativa a aplicação de produtos químicos no controle pós-colheita da podridão parda.

REFERÊNCIAS

1. De Souza AM., Ayub RA, Pinto CA. Adaptabilidade de cultivares de pessegueiro na região dos Campos Gerais-Paraná. Rev. em Agronegócio e Meio Ambient. 2022;15; 1-14
2. RASEIRA MCB. Pêssego cultivar BRSbrs libra. Rev. Bras Fruti. 2010; 32:961-1296.
3. Fao. Food and agriculture organization of united nations - FAO. Faostat. Roma: FAO, [Internet]. 2021. [acesso em 2020 14 dez]. Disponível Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL> .
4. D'avila RF, Zambiasi RC, Sá OS, Toralles RP. Atividade de β glucosidases em

- extrato enzimático obtido de amêndoas de pêssego. . Rev. Bras Fruti.2015;37:541-549.
5. Faostat (Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division). On-line database. [Internet]. 2017 [acesso em 2022 14 dez]. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/>. Rome, Italy.
 6. Seplan . Rio grande do sul. Secretaria do Planejamento e Desenvolvimento Regional (Seplan). Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul: economia: pêssego e banana - 2020. [Internet]. 2021. [acesso em 2020 14 dez]. Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/pessego-e-banana>.
 7. Madail JCM, Raseira MCB. Aspectos da produção e mercado do pêssego no Brasil. [Internet]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Circular Técnica 80; 2008. [acesso em: 15 dez 2022]. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Circular_80_000gihms14i02wx5ok05vadr1g2w5svd.pdf.
 8. Sautter CK, Brackmann A, Anese RDO, Weber A, Rizzatti MR, Pavanello EP. Controle da podridão-parda e características físico-químicas de pêssegos 'Magnum' submetidos a tratamentos pós-colheita com elicitores abióticos. Rev Ceres. 2011; 58:172-177.
 9. Moreira LM, May-de mio LL. Controle da podridão parda do pessegueiro com fungicidas e fosfitos avaliados em pré e pós-colheita. Ciên agrotec. 2009; 33: 405-411.
 10. May-de mio LL, Garrido L, Ueno B. Doenças de fruteiras de caroço. In: MONTEIRO LB. Fruteiras de caroço: uma visão ecológica. 2004.
 11. Moreira LM. Alternativas de controle integrado da podridão parda do pessegueiro. [Tese]. Curitiba; Universidade Federal do Paraná; 2005.
 12. Franca, D. As técnicas de controle biológico projetam um futuro promissor e lucrativo para a agricultura: As técnicas inovadoras do conceito de Controle Biológico têm se revelado cada vez mais promissoras. Inova. & Desen: A Rev da FACEPE. 2020; 1: 11-13.
 13. Lorenzetti ER. Controle de doenças do morangueiro com óleos essenciais e *Trichoderma* spp. [Tese]. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2012.
 14. Tarek N, Hassan H, Abdelghani SMM, Radwan, IA, Hammouda O, El-gendy AO. Comparative chemical and antimicrobial study of nine essential oils obtained from medicinal plants growing in Egypt. Beni-suef University Jour Of Basic and Applied Scien.2014;3:149-156.
 15. Almeida AC, Oliveira L, Paulo PD, Martins ER, Souza RM, Figueiredo LS, Santos CA, Fonseca HC. Potencial antimicrobiano dos óleos essenciais de cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum* L.) e alfavacão (*Ocimum gratissimum* L.) em carne moída de ovinos contaminada experimentalmente com *Staphylococcus aureus*. Rev. Bras de Ciên Vet. 2013; 20:248-251.
 16. Alfenas AC. Isolamento de fungos fitopatogênicos. In: MAFIA, R.G. Métodos em Fitopatologia. 1. UFV; 2016.
 17. Wagner AJR, Raseira MCB, Fortes JF, Pierobom CR, Silva JB. Non-Correlation of Flower and Fruit Resistance to Brown Rot (*Monilinia fructicola* (Wint.) Honey) Among 27 Peach Cultivars and Selections. Jour of the Ameri Pomo Socie. 2005; 59: 148-152.

18. Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciênc Agrotec.* 2011; 35:1039-1042.
19. Affonso RS, Rennó MN, Slana GB, Franca TC. Aspectos Químicos e Biológicos do Óleo Essencial de Cravo da Índia. *Rev. Virt Quím.* 2012; 4:146-161.
20. Coutinho IBL, Gagliardi PR, Ootani MA. Atividades de extratos vegetais no controle de *Fusarium pallidoroseum* (Cooke) Sacc em meloeiro. *Essentia.* 2015; 16:40-61.
21. Rozwalka LC. Controle alternativo da antracnose em frutos de goiabeira, em laboratório. [dissertação]. Curitiba: Universidade Federal do Paraná; 2003.
22. Pereira AA. Efeito inibitório de óleos essenciais sobre o crescimento de bactérias e fungos. [dissertação]. Lavras: Universidade Federal de Lavras; 2006.
23. Oliveira ES, Viana FMP, Martins MVV. Alternativas a fungicidas sintéticos no controle da antracnose da banana. *Sum phyto.* 2016; 42: 340-350.
24. GOMES RSS, Nunes MC, Nascimento LC, Souza JO, Porcino MM. Eficiência de óleos essenciais na qualidade sanitária e fisiológica em sementes de feijão-fava (*Phaseolus lunatus L.*). *Revi. Brasi Plant Medi.* 2016; 18: 279-287.
25. Carvalho VL, Cunha RLD, Chalfun NNJ, Moura PHA. Alternativas de controle pós-colheita da podridão-parda e da podridão-mole em frutos de pessegueiro. *Revi. Bras Fruti.* 2009; 31:78-83.
26. Fontana DC, Kulczynski SM, Trevisan R, Schmit D, Caron BO, Pinheiro MVM, Diel MI. Uso de extratos vegetais no controle alternativo da podridão parda do pessegueiro. *Revi cult saber.* 2017; 10:148-165.



ISBN 978-659996581-4



9

786599

965814