

ALEX FERNANDO DE ALMEIDA

ORGANIZADOR

BIOPROSPECÇÃO DE ENZIMAS E PROBIÓTICOS

A PARTIR DE FRUTOS AMAZÔNICOS PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS



EDUFT
Conhecimento na palma da mão

ALEX FERNANDO DE ALMEIDA

ORGANIZADOR

BIOPROSPECÇÃO DE ENZIMAS E PROBIÓTICOS

A PARTIR DE FRUTOS AMAZÔNICOS PARA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS



Universidade Federal do Tocantins

Editora da Universidade Federal do Tocantins

Reitor

Luis Eduardo Bovolato

Vice-reitor

Marcelo Leineker Costa

Chefe de Gabinete

Emerson Subtil Denicoli

Pró-Reitor de Administração e Finanças (PROAD)

Jaasiel Nascimento Lima

Pró-Reitor de Assuntos Estudantis (PROEST)

Kherlley Caxias Batista Barbosa

Pró-Reitora de Extensão, Cultura e Assuntos Comunitários (PROEX).

Maria Santana Ferreira dos Santos

Pró-Reitora de Gestão e Desenvolvimento de Pessoas (PROGEDEP)

*Michelle Matilde Semiguel Lima
Trombini Duarte*

Pró-Reitor de Graduação (PROGRAD)

Eduardo José Cezari

Pró-Reitor de Pesquisa e Pós-Graduação (PROPESQ)

Raphael Sânzio Pimenta

Pró-Reitor de Tecnologia e Comunicação (PROTIC)

Ary Henrique Moraes de Oliveira

Conselho Editorial

*Ruhena Kelber Abrão Ferreira
Membros do Conselho por Área*

Ciências Biológicas e da Saúde

*Eder Ahmad Charaf Eddine
Marcela Antunes Paschoal Popolin
Marcio dos Santos Teixeira Pinho*

Ciências Humanas, Letras e Artes

*Barbara Tavares dos Santos
George Leonardo Seabra Coelho
Marcos Alexandre de Melo Santiago
Rosemeri Birck
Thiago Barbosa Soares
Willian Douglas Guilherme*

Ciências Sociais Aplicadas

*Roseli Bodnar
Vinicius Pinheiro Marques*

Engenharias, Ciências Exatas e da Terra

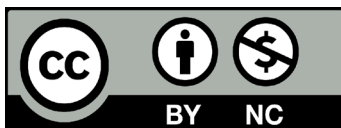
*Fernando Soares de Carvalho
Marcos André de Oliveira
Maria Cristina Bueno Coelho*

Interdisciplinar

*Ana Roseli Paes dos Santos
Ruhena Kelber Abrão Ferreira
Wilson Rogério dos Santos*

Copyright © 2024 – Universidade Federal do Tocantins – Todos direitos reservados

**Universidade Federal do Tocantins (UFT) | Câmpus de Palmas
Avenida NS 15, Quadra 109 Norte | Plano Diretor Norte
Bloco IV, Reitoria
Palmas/TO | 77001-090**



Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0)

Direção de capa: Joilene Lima

Edição gráfica de Imagens: Joilene Lima

Diagramação: Joilene Lima

Diagramação de apoio: Raissa Bambirra

Organizador: Alex Fernando de Almeida

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins (SISBIB)**

B615 Bioprospecção de enzimas e probióticos : a partir de frutos amazônicos para aplicação em alimentos. / Alex Fernando de Almeida (organizador). – 1. ed. - Palmas, TO: EDUFT, 2024.
174p.

Inclui Bibliografia.

ISBN: 978-65-5390-074-5.

1. Biotecnologia. 2. Probióticos. 3. Bioprospecção. 4. Compostos ativos. 5. Frutos amazônicos. I. Almeida, Alex Fernando de.

CDD660.6

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.

APRESENTAÇÃO

O Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos tem atuado fortemente na formação e capacitação de recursos humanos para atender as demandas da sociedade com o desenvolvimento de produtos a partir da matéria prima originária da Amazônia Legal, assim como o aproveitamento de resíduos agroindustriais. O emprego da biotecnologia na área de ciência dos alimentos permite a exploração de moléculas com alto valor agregado como compostos bioativos de plantas e microrganismos e enzimas microbianas. Nesse contexto, o Programa estabeleceu parcerias importantes com diferentes instituições de ensino e pesquisa nacionais e internacionais. Essas parcerias permitiram que projetos de pesquisa e programas de consolidação da pós-graduação fossem contemplados em editais da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas do Nível Superior (CAPES), como o Programa de Cooperação Acadêmica – Amazônia Legal (PROCAD – Amazônia Legal – Programa 1707/2018).

Esta obra apresenta partes dos resultados dos projetos de pesquisa desenvolvidos por pesquisadores vinculados ao Programa de Pós-Graduação. Na Seção I são abordados tópicos do uso da biotecnologia para explorar os microrganismos autóctones dos frutos amazônicos e a identificação de moléculas importantes para a aplicação na indústria de alimentos como ferramenta para promover melhorias em processos já existentes. Também são abordados o uso dos microrganismos como probióticos em formulação de alimentos e no controle biológico de pragas. Esta abordagem é nova no âmbito da área de estudo, uma vez que pouco conhecimento foi gerado pelas instituições de pesquisa na exploração de microrganismos autóctones de frutos amazônicos.

Na Seção II os capítulos abordam a caracterização da matéria prima e o desenvolvimento de novos produtos a partir de frutos amazônicos. Os pesquisadores mostram a partir das pesquisas desenvolvidas a importância dos óleos obtidos de frutos amazônicos na aplicação de novos produtos, a composição química e atividade antioxidante dos frutos amazônicos e, em uma abordagem tecnológica, é apresentada a técnica de encapsulação de compostos bioativos para aplicação de novos produtos alimentícios.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	5
CAPÍTULO I - FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA DE FRUTOS AMAZÔNICOS COMO ESTRATÉGIA DE BIOPROSPECÇÃO DE FUNGOS PRODUTORES DE ENZIMAS.....	11
DIVERSIDADE DE FRUTOS AMAZÔNICOS.....	12
FUNGOS COMO PRODUTORES DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS.....	13
ENZIMAS: INVERTASE, LIPASE E PECTINASE.....	14
Invertase.....	15
Lipase.....	15
Pectinase.....	16
MICROORGANISMOS AUTÓCTONES DE FRUTOS AMAZÔNICOS EM FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA COMO PRODUTORES DE ENZIMAS	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18
CAPÍTULO II - PRODUÇÃO DE INVERTASES E FRUTOSILTRANSFERASES MICROBIANAS A PARTIR DE FRUTOS AMAZÔNICOS.....	24
Frutos amazônicos.....	25
Isolamento de microrganismos em frutos.....	27
Invertase.....	30
Frutosiltransferase	32
Fruto-oligossacarídeos.....	34
Aplicação na indústria de alimentos.....	36
Invertase.....	36

Frutossiltransferase	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
CAPÍTULO III - PECTINASES MICROBIANAS DE FRUTOS: FONTES DE OBTENÇÃO E APLICAÇÃO INDUSTRIAL.....	45
Diversidade de frutos amazônicos.....	46
Isolamento de microrganismos autóctones de frutos.....	47
Enzimas pectinolíticas.....	49
Fontes de obtenção de enzimas pectinolíticas.....	51
Aplicações de enzimas pectinolíticas.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
CAPÍTULO IV - LIPASE MICROBIANA: MERCADO, PRODUÇÃO, IMOBILIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS	67
MERCADO GLOBAL E BRASILEIRO DE ENZIMAS.....	68
LIPASES	69
PRODUÇÃO DE LIPASES.....	70
UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE LIPASE.....	73
OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LIPASE.....	74
IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE.....	76
APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS.....	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
CAPÍTULO V - LEVEDURAS ISOLADAS DE FRUTOS AMAZÔNICOS COMO OPÇÃO DE CONTROLE BIOLÓGICO CONTRA A ANTRACNOSE PÓS-COLHEITA EM mangífera indica l. CAUSADA PELO FITOPATÓGENO Colletotrichum	

gloeosporioide: UMA REVISÃO.....	87
Controle biológico.....	92
Leveduras amazônicas como opção de biocontrole.....	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96
CAPÍTULO VI - UTILIZAÇÃO DE LEVEDURAS PROBIÓTICAS ISOLADAS DE FRUTOS AMAZÔNICOS NA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS	106
Leveduras como probiótico	107
Potenciais fontes de isolamento	109
Identificação de leveduras.....	110
Aplicação de leveduras probióticas em alimentos	112
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
CAPÍTULO VII - POTENCIAL DOS ÓLEOS OBTIDOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS.....	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128
CAPÍTULO VIII - COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E COMPOSTOS BIOATIVOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS.....	137
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	147
CAPÍTULO IX - MICROENCAPSULAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA.....	156
Pigmentos naturais	158
Microencapsulação	160
Técnicas de Microencapsulação	160
Agentes Encapsulantes.....	162

Microencapsulação de Pigmentos naturais	164
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	168
biOGRAFIA DOS AUTORES	173

SEÇÃO

I

*ASPECTOS BIOTECNOLÓGICOS DOS FRU-
TOS AMAZÔNICOS*

CAPÍTULO I - FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA DE FRUTOS AMAZÔNICOS COMO ESTRATÉGIA DE BIOPROSPECÇÃO DE FUNGOS PRODUTORES DE ENZIMAS

Débora dos Santos Rodrigues, Jessica Durães Sousa, Antonio Dheyson da Silva Oliveira, Alex Fernando de Almeida, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos*

**Universidade Federal do Tocantins, Laboratório de Microbiologia de Alimentos, Quadra 109 Norte, Avenida NS-15, ALCNO-14, Plano Diretor Norte, CEP: 77001-090 Palmas-TO. E-mail: claudiaauler@uft.edu.br*

A biodiversidade da floresta amazônica tem cada vez mais chamado a atenção do planeta e vem sendo considerada um relevante ativo bioindustrial. Seu estudo demonstra potencial para o desenvolvimento de novas tecnologias e de bioprodutos voltados para as indústrias farmacêutica, de cosméticos, de enzimas, de alimentos e bebidas, entre outras (SOUZA et al., 2020). Entretanto, é importante utilizar essa biodiversidade de forma sustentável, pois é um patrimônio valioso com potenciais benefícios econômicos e sociais (FONSECA et al., 2018; COSTA; ALVES, 2018; ZIMMER et al., 2020).

Embora muitas pesquisas já tenham sido realizadas sobre a diversidade de fauna e flora, há poucos estudos sobre a biodiversidade microbiana da Amazônia, e pouco se sabe sobre a presença de microrganismos nessa região, havendo desconhecimento sobre o potencial de geração de produtos biotecnológicos da microbiota autóctone de frutos amazônicos. Portanto, o desenvolvimento de pesquisas básicas e aplicadas que visem encontrar microrganismos nesse habitat se fazem extremamente relevantes.

Os frutos, independentemente de sua origem, servem como habitats para muitos microrganismos que colonizam a superfície (epifíticos) ou que vivem dentro de seus tecidos (endofíticos), estando intimamente associados ao desenvolvimento, preservação pós-colheita e controle de qualidade destes frutos. Nesse sentido, os

frutos amazônicos podem representar um habitat primário e fonte de energia no ciclo de vida de muitos microrganismos (ABDELFATTAH et al., 2016; SHEN et al., 2018).

Os procedimentos atuais de bioprospecção e biotecnologia permitem, a partir da biodiversidade microbiana, descobrir com eficiência substâncias para desenvolver novos bioprodutos, agregando assim, valor às matérias-primas e conhecimento sobre a microbiota de ecossistemas ainda pouco estudados. Entre essas metodologias, o estudo do processo fermentativo espontâneo de frutos é um método que possibilita a seleção e identificação de novas linhagens da biodiversidade brasileira, e conseqüentemente, permite explorar de forma biotecnológica o potencial desses microrganismos, incluindo-se a produção de enzimas de interesse industrial.

Portanto, o presente capítulo tem o objetivo de fornecer informações sobre a biodiversidade microbiana isolada de frutos amazônicos em fermentação espontânea e indicar esse método de prospecção como uma alternativa para a seleção de microrganismos produtores de enzimas.

DIVERSIDADE DE FRUTOS AMAZÔNICOS

O Brasil dispõe de grande reserva de espécies nativas e importantes centros de diversidade genética, isso graças a sua localização geográfica e clima tropical. A biodiversidade brasileira é considerada uma fonte de substâncias biologicamente ativas e sua preservação é fundamental tanto pelo valor intrínseco dessa imensa riqueza biológica, quanto pelo seu enorme potencial como fonte de novos produtos, a exemplo dos fármacos, alimentos, cosméticos, entre outros.

A Floresta Amazônica detém aproximadamente 220 espécies de frutos comestíveis, representando cerca de 44% da diversidade de frutos nativos brasileiros. Contudo, nem todas essas espécies são conhecidas e exploradas, resultando em baixo consumo, produção e diferentes denominações como nativas, exóticas, tropicais ou regionais. Esses frutos são explorados de forma extrativista, geralmente sendo comercializados no mercado local *in natura* ou na forma de polpa, sendo considerados produtos de baixo valor agregado (MILANEZZI, 2022).

Nesse sentido, o estudo da flora amazônica tem despertado interesse dos pesquisadores, visando o manejo adequado e o melhor aproveitamento das espécies frutíferas na alimentação humana. Além disso, existe o interesse dos pesquisadores na identificação de novas fontes de matéria-prima de baixo custo, com disponibilidade de óleo e proteína e com elevado potencial industrial (DINIZ e DINIZ, 2018; SINGH, 2015).

Mesmo as espécies nativas de frutas, que são amplamente consumidas pelas populações tradicionais do território e facilmente encontradas em mercados locais, como a pupunha (*Bactris gasipaes*), tucumã (*Astrocaryum vulgare*) e o bacupari (*Garcinia gardneriana*) são pouco estudadas e há escassez ou nenhuma informação sobre a microbiota autóctone dessas frutas (NORONHA MATOS et al., 2019; RITTER et al., 2021).

FUNGOS COMO PRODUTORES DE ENZIMAS HIDROLÍTICAS

Os fungos são importantes produtores de enzimas, são microrganismos relativamente fáceis de cultivar em ambientes controlados e altamente sensíveis a alterações genéticas, permitindo a obtenção de linhagens aprimoradas em termos de produção e qualidade de enzimas. Fungos endofíticos têm alta capacidade de produção de enzimas extracelulares como pectinases, lipases, invertases e outras enzimas catabólicas (BEZERRA et al., 2012).

Fungos filamentosos e leveduras contribuem com mais da metade das enzimas industriais. As enzimas microbianas são mais estáveis e ativas que as enzimas de origem vegetal e animal. Essas enzimas são produzidas principalmente por fermentação submersa e fermentação em estado sólido. A imensa diversidade de enzimas microbianas, as tornam passíveis de aplicação em muitas áreas, como por exemplo, no processamento de alimentos, agricultura e indústria química (THAPA et al., 2019).

Levando-se em consideração a grande aplicabilidade de enzimas microbianas, a bioprospecção de microrganismos selvagens produtores de enzimas é um importante campo de pesquisa, entretanto, a microbiota de frutos amazônicos e seu potencial biotecnológico ainda permanece pouco estudado. Em contrapartida, os escassos estudos desenvolvidos nesta área revelam um grande reservatório de linhagens promissoras para diversas áreas do

conhecimento (LIMA et al., 2020). Na Tabela 1 apresenta dados de diversidade de fungos endofíticos produtores de enzimas isolados de diferentes fontes, entre elas, frutos, folhas e flores.

Tabela 1: Dados de prospecção de fungos endofíticos produtores de enzimas isolados de diferentes fontes vegetais.

Enzi- ma	Fungos endofíticos	Fonte	Referências
Li pa- se	<i>Lasiodiplodia theobro- mae</i> , <i>Aspergillus sp</i> , <i>Fusarium equiseti</i>	Coco (<i>Cocos nucifera</i>), dendê (<i>elaeis guineenses</i>), mamona (<i>Ricinus communis</i>)	Venkatesa- gowda et al., 2012; Sandi et al., 2020.
Inver- tase	<i>Meyerozyma</i> , <i>Caribica</i> , <i>Wickerhamomyces</i> <i>ciferrii</i> , <i>Pichia kudria- vzevii</i>	Pinha (<i>Annona</i> <i>Squamosa</i>)	Araújo, 2015.
Pecti- nase	<i>Pseudopestalotiopsis</i> <i>theae</i> . <i>Penicillium</i>	Orquidia (<i>Dendrobium</i> <i>aphyllum</i>), tamareira (<i>Phoe- nix dactylifera</i> L)	Sopalun e Iamtham, 2020; Mefteh et al., 2017.

Fonte: Autores (2023)

ENZIMAS: INVERTASE, LIPASE E PECTINASE

As enzimas são proteínas encontradas em células vivas, que agem como biocatalisadores, facilitando as reações metabólicas em um organismo. Essas macromoléculas biológicas exercem um papel decisivo tanto na aceleração da velocidade como da especificidade de quase todas as reações químicas e processos metabólicos (BORRISS, 1987; PATEL; SINGHANIA; PANDEY, 2017; THAPA et al., 2019).

Na indústria, as enzimas são essenciais em muitos processos, visto que proporcionam diversas vantagens como redução de tempo e de consumo de energia, aumento da eficiência e qualidade de produtos, além de não serem tóxicas (SINGH et al., 2016). Desse modo, essas enzimas são comumente utilizadas em alimentos e bebidas, produtos farmacêuticos, têxteis, biocombustíveis, detergentes, e muitos outros segmentos industriais (THAPA et al., 2019; RODRIGUES, 2021).

Em uma perspectiva econômica, estima-se que o mercado global de enzimas industriais alcance US \$7,0 bilhões em 2023. Com

relação à produção em escala industrial, a maioria das enzimas são produzidas a partir de fungos filamentosos, que corresponde a cerca de 60%, seguida por bactérias (24%), leveduras (4%) e o restante são de fontes vegetais e animais, desse total, 75% são enzimas hidrolíticas (FASIM; MORE; MORE, 2021, RODRIGUES, 2021).

Invertase

A invertase é uma proteína globular que catalisa a sacarose em dois monossacarídeos, glicose e frutose, produzindo o açúcar invertido. Dentre as enzimas industriais, as invertases destacam-se pelo seu potencial biotecnológico, mas a principal aplicação dessas enzimas é na produção de xarope de açúcar invertido, sendo amplamente utilizado pela indústria de alimentos na preparação de doces, geleias, mel artificial, leite condensado, bebidas, xaropes e muitos outros. As invertases também têm sido utilizadas como agentes antioxidantes e antimicrobianos (MANOOCHEHRI et al., 2020; SINGH e KUMAR, 2018).

Chauhan et al. (2016) realizaram um estudo para investigar a produção de invertase por leveduras isoladas de resíduos de uva (*Vitis vinífera*), revelando assim uma fonte potencial para a produção dessa enzima. Em outra pesquisa, Araújo (2015) trabalhou com nove isolados de leveduras de frutos do cerrado, sendo que três desses apresentaram atividade enzimática para invertase. Esses resultados reforçam ainda mais a relevância dos frutos como fontes promissoras de microrganismos com a habilidade de secretar enzimas.

Lipase

As lipases estão entre os biocatalisadores mais valorizados no campo da biotecnologia e podem ser utilizadas em indústrias de alimentos, detergentes, têxteis, farmacêuticos, energia e cosméticos. A necessidade constante de lipase nos processos industriais a torna o terceiro maior grupo de enzimas com base no valor de mercado, depois das proteases e carboidrases (PHUKON et al., 2020).

As lipases produzidas por microrganismos têm ganhado um grande interesse industrial devido à sua versatilidade, maior rendimento, bem como à produção independente da estação do ano em comparação com as produções de origem animal e vegetal. Além

disso, a produção de lipases microbianas é fácil e econômica, trazendo benefícios adicionais (PATEL et al., 2020). As tecnologias avançadas permitem que os genomas de microrganismos sejam sequenciados de maneira muito eficiente e permite que muitas novas sequências de genes que codificam variantes de enzimas sejam também identificadas (SRIVASTAVA, 2019).

Soares et al. (2015) verificaram que 20 leveduras de 35 isoladas do pequi (*Caryocar brasiliense*) apresentaram halos em volta das colônias indicando, portanto, capacidade de secretar lipase no meio sólido. No estudo realizado por Rocha et al. (2021), foram isolados 9 fungos filamentosos a partir da macaúba (*Acromia aculeata*). Todos foram avaliados quanto à produção de lipase, e 3 deles apresentaram atividade enzimática significativa. Trabalhos como esses reforçam a importância de se bioprospectar filamentosos para a produção de lipases.

Pectinase

As pectinases são enzimas que degradam substâncias pécnicas, como as encontradas em frutas, por meio de reações de despolimerização ou esterificação. Embora as enzimas pectolíticas sejam naturalmente abundantes em frutas e desempenhem um papel no amadurecimento, a produção em grande escala utiliza principalmente fontes microbianas devido à sua facilidade de cultivo e manutenção em condições controladas (SAMANTA, 2019; SINGH e KUMAR, 2018).

A aplicação da pectinase em grande escala enfrenta problemas de estabilidade e custo de produção, mesmo assim é essencial para a indústria de alimentos e bebidas, representando cerca de 25% do mercado global de enzimas. Estudos apontam que cerca de 50% das pectinases são produzidas por fungos e leveduras, sendo altamente versáteis e capazes de atuar em várias substâncias pécnicas. Essas características são valiosas para processos industriais diversos (VIDEIRA, 2021; BIJESH et al., 2018)

Em estudo realizado por Araújo et al. (2019, 19 espécies de fungos foram isolados a partir da fermentação do cacau, sendo que 2 apresentaram alto potencial para a secreção de pectinase de interesse biotecnológico.

MICROORGANISMOS AUTÓCTONES DE FRUTOS AMAZÔNICOS EM FERMENTAÇÃO ESPONTÂNEA COMO PRODUTORES DE ENZIMAS

No Brasil, algumas instituições de ensino e pesquisa possuem importantes coleções de culturas de microrganismos provenientes de projetos de pesquisa realizados pelos estudantes de graduação e pós-graduação, os quais compartilham o objetivo de preservar microrganismos da biodiversidade amazônica. Na Universidade Federal do Tocantins, o grupo de pesquisa coordenado pela professora doutora Claudia Cristina Auler do Amaral Santos vem desenvolvendo trabalhos que visam conhecer a microbiota de frutos autóctone dos biomas Cerrado e Amazônia, bem como bioprospectá-los para utilização em diferentes processos relacionados à indústria de alimentos e bebidas, como produção de enzimas, aplicação em processos de panificação e cervejeiros, entre outros. Abaixo estão alguns dos trabalhos desenvolvidos recentemente por esse grupo de pesquisadores.

Rodrigues (2021) realizou um estudo para conhecer a comunidade fúngica presente nos frutos amazônicos pupunha (*Bactris gasipaes*) e tucumã (*Astrocaryum vulgare*) em fermentação espontânea e avaliou a capacidade de produção de enzimas hidrolíticas dos microrganismos isolados. Trezentos e onze leveduras foram isoladas e passaram por uma triagem para avaliar a produção de enzimas hidrolíticas, dessas, trezentos e onze produziram invertase, oitenta e oito lipase e um isolado produziu pectinase. Neste estudo foram identificadas várias espécies de fungos, entre eles fungos do gênero *Lasiodiplodia ssp*, *Pichia ssp*, *Fusarium ssp* e *Meyerozyma ssp*.

Em 2022, Oliveira conduziu um estudo para examinar a comunidade fúngica presente no bacupari (*Garcinia gardneriana*), durante o processo de fermentação espontânea. O objetivo era avaliar a capacidade desses fungos de produzir lipase, invertase e pectinase. Durante a pesquisa, foram isoladas 106 leveduras e 22 fungos filamentosos. Dentre os 128 isolados, 22 fungos filamentosos e 106 leveduras apresentaram potencial de produção de invertase, ademais, 10 fungos filamentosos e 23 leveduras mostraram-se produtores de lipase. Diversos gêneros de fungos foram identificados no trabalho, dentre eles *Diaporthe ssp* e *Aspergillus ssp*. se destacaram.

Sousa (2022) realizou um estudo com fermentação espontânea dos frutos pupunha e tucumã. Da punha foram isolados 70 fungos filamentosos, desses 26 produziram invertase, 19 isolados produziram lipase e 13 produziram pectinase. Do tucumã 176 fungos filamentosos foram isolados, sendo 50 produtores de invertase, 29 produtores de lipase e 17 mostraram-se produtores de pectinase.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Amazônia tem impulsionado o interesse de muitos pesquisadores em relação a sua extensa biodiversidade, principalmente pela busca de novos microrganismos capazes de suprir demandas no mercado biotecnológico, como por exemplo, a produção de enzimas. Nesse sentido, os frutos nativos dessa região são promissores campos de estudo, visto que muitos microrganismos fazem parte da composição natural desses frutos e ainda são pouco conhecidos com relação ao seu potencial biotecnológico, com destaque para os fungos, reconhecidos pelo seu grande potencial de produção de compostos orgânicos utilizados nas mais diversas indústrias.

A fermentação espontânea dos frutos amazônicos é uma interessante metodologia de prospecção devido às variações físico-químicas que ocorrem no processo fermentativo, levando a sucessão microbiológica que pode favorecer o desenvolvimento de microrganismos produtores de enzimas, notadamente os fungos. Estes estudos abrem possibilidades para a investigação da microbiota autóctone de diversos frutos, visando conhecer a ecologia microbiana, bem como a descoberta de novos microrganismos produtores de enzimas ou outros compostos valiosos para aplicação industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELFATTAH, A. et al. Spatial and compositional variation in the fungal communities of organic and conventionally grown apple fruit at the consumer point-of-purchase. **Horticulture Research**, v. 3, 2016.

ALMEIDA, S. DE F. O. et al. Diversity of yeasts during fermentation of cocoa from two sites in the Brazilian amazon. **Acta Amazonica**, v. 49,

n. 1, p. 64–70, mar. 2019.

ARAÚJO, J. A. et al. Filamentous fungi diversity in the natural fermentation of Amazonian cocoa beans and the microbial enzyme activities. **Annals of Microbiology**, v. 9, n. 69, p. 975-987, 2019.

ARAÚJO, M. A. **Isolamento e seleção de leveduras para produção de enzimas de interesse industrial a partir de frutos do cerrado**. 2015. 67 f. Dissertação (Biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2015.

BEZERRA, J. D. P. et al. Richness of endophytic fungi isolated from *Opuntia ficus-indica* Mill. (Cactaceae) and preliminary screening for enzyme production. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, p. 1989-1995, 2012.

BIJESH, K.; SEBASTIAN, D. Review on bacterial production of alkaline pectinase with special emphasis on *Bacillus* species. *Bioscience Biotechnology Research Communications*. 11. 10.21786/bbrc/11.1/4, 2018.

BORRIS, R. Em *Biotechnology volume 7a: Enzyme Technology*; Rehm, H.-J.; Reed, G., eds.; Wiley-VCH: Weinheim, 1987, cap. 2.

COSTA, J.; ALVES, N. Os recursos estratégicos da Amazônia brasileira e a cobiça internacional. **Rev Perspect Porto Alegre** 11 (20): 65-86, 2018.

CHAUHAN, R. C.; CHAUHAN, P. B.; GAHLOUT, M.. Isolation Screening and Optimization of Invertase Production under Submerged Fermentation. **International Journal of Research and Scientific Innovation**, v. 5, p. 35-40, 2016.

DINIZ, M. B.; DINIZ, M. J. T.; SILVA, A. L. F.; BARRIOS, M. L. C.; LIMA, E. B. F. Região amazônica: biodiversidade e possibilidades de transformação industrial. *Centro de Pesquisa Econômica*, v. 6, n. 5, 2018.

FASIM, A.; MORE, V. S.; MORE, S. S. Large-scale production of enzymes for biotechnology uses *Current Opinion in Biotechnology Elsevier Current Trends*, 1 jun. 2021.

FONSECA et al. Contrasting the microbiomes from forest rhizo-

sphere and deeper bulk soil from an Amazon rainforest reserve, **Gene**, v. 642, p. 389-397, 2018.

LIMA, A. C. M.; SANTOS, I. A.; BASTOS, L. T. A.; ELIAS, F. C. P; ALMEIDA, A. F. Potencial de frutos amazônicos para a produção de enzimas microbianas. Palmas: Eduft, 2020. Cap. 4. p. 48-63.

LIMA, D. G.; SILVA, R. F.; FURTADO, M. T. Chemical Composition and Microbiological Aspects of Enriched Breads with Integral Pulp of Dehydrated Pupunha. **Revista GEINTEC Gestão, Inovação e Tecnologias**, v. 10, p. 5352–5366, 2020.

MEFTEH, F. B. et al. Fungal root microbiome from healthy and brittle leaf diseased date palm trees (*Phoenix dactylifera* L.) reveals a hidden untapped arsenal of antibacterial and broad spectrum antifungal secondary metabolites. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 307, 2017.

MILANEZZI, G. C. Compostos bioativos em frutas exóticas brasileiras: revisão bibliográfica Bioactive compounds in brazilian exotic fruits: a literature review. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 52376-52385, 2022.

MANOOCHERI, Hamed et al. A review on invertase: Its potentials and applications. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 25, p. 101599, 2020.

NORONHA MATOS, K. A. et al. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216–221, 30 jan. 2019.

OLIVEIRA, A. D. S. **Isolamento e screening de fungos produtores de enzimas hidrolíticas de bacupari (*Garcinia gardneriana*) em fermentação espontânea**. 2022. 67f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas, 2022.

PATEL, A. K.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A. Production, Purification, and Application of Microbial Enzymes. In: **Biotechnology of Microbial**

Enzymes: Production, Biocatalysis and Industrial Applications. Academic Press, 2017. p. 13–41.

PATEL, H.; RAY, S.; PATEL, A.; PATEL, K.; TRIVEDI, U. Enhanced lipase production from organic solvent tolerant *Pseudomonas aeruginosa* UKHL1 and its application in oily waste-water treatment. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 28, 101731, 2020.

PHUKON, L. C.; CHOURASIAA, R.; KUMARI, M.; GODAN, T. K.; SAHOO, D.; PARAMESWARAN, B.; RAI, A. K. Production and characterisation of lipase for application in detergent industry from a novel *Pseudomonas helmanticensis* HS6. *Bioresource Technology*, v. 309, 123352, 2020.

RITTER, C. D. et al. Assessing Biotic and Abiotic Interactions of Microorganisms in Amazonia through Co-Occurrence Networks and DNA Metabarcoding. **Microbial Ecology**, v. 82, n. 3, p. 746–760, 2021.

ROCHA, Adeline Cristina Pereira et al. Isolation of potential lipolytic filamentous fungi from Macauba samples for applications in biotechnological processes. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 5, p. 49426-49442, 2021.

RODRIGUES, D. S. **Bioprospecção de leveduras autóctones de frutos amazônicos potencialmente produtoras de enzimas aplicáveis na área de alimentos**. 2021. 80f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas, 2021.

SAMANTA, S. Microbial pectinases: a review on molecular and biotechnological perspectives. *Journal of Microbiology*, **Biotechnology and Food Sciences**, v. 9, n. 2, p. 248–266, set. 2019.

SANDI, Javier; MATA-ARAYA, Iray; AGUILAR, Francisco. Diversity of lipase-producing microorganisms from tropical oilseeds *Elaeis guineensis*, *Ricinus communis*, and *Jatropha curcas* L. from Costa Rica. **Current Microbiology**, v. 77, n. 6, p. 943-952, 2020.

SINGH, P.; KUMAR, S. Microbial enzyme in food biotechnology. In: *Enzymes in Food Biotechnology: Production, Applications, and Future*

Prospects. India: Elsevier Inc., 2018. p. 19– 28.

SINGH, T. C. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e estabilidade de compostos bioativos em óleos de polpa e amêndoa de frutos amazônicos. 2015. 158 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2015.

SOARES, M. D. K. G. et al. Assessment of lipolytic activity of isolated microorganisms from the savannah of the tocanins. **Acta Scientiarum - Biological Sciences**, v. 37, n. 4, p. 471–475, 1 out. 2015.

SOPALUN, K.; IAMTHAM, S. Isolation and screening of extracellular enzymatic activity of endophytic fungi isolated from Thai orchids. **South African Journal of Botany**, v. 134, p. 273-279, 2020.

SOUZA, Roseane Veras de et al. Potencial biotecnológico de microrganismos autóctones de frutos amazônicos. In: ALMEIDA, Alex Fernando de; SANTOS, Claudia Cristina Auler do Amaral (org.). **Frutos amazônicos: biotecnologia e sustentabilidade**. Palmas: EDUFT, 2020. Cap 3. p. 38-47.

SRIVASTAVA, N. Production of Food Processing Enzymes from Recombinant Microorganisms. Enzymes in Food Biotechnology. Department of Biotechnology, CETIILM, Greater Noida, India, <https://doi.org/10.1016/B9780128132807.00043-8>. 2019.

THAPA, S. et al. Biochemical Characteristics of Microbial Enzymes and Their Significance from Industrial Perspectives. **Molecular Biotechnology**, v. 61, n. 8, p. 579–601, 2019.

VENKATESAGOWDA, B. et al. Diversity of plant oil seed-associated fungi isolated from seven oil-bearing seeds and their potential for the production of lipolytic enzymes. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, p. 71-80, 2012.

VIDEIRA, T. C. Produção de pectinases por cultivo em estado sólido do fungo *Pycnoporus sanguineus* em resíduos agroindustriais. 2021. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Meio Ambiente) – Faculdade de Ciências Biológicas e Ambientais, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2021.

ZIMMER, F. M. A. L.; FERRAZ, F. S.; SANTOS, C. C. A. A. Diversidade de frutos Amazônicos e seu uso sustentável. In: ALMEIDA, Alex Fernando de; SANTOS, Claudia Cristina Auler do Amaral (org.). **Frutos amazônicos: biotecnologia e sustentabilidade**. Palmas: EDUFT, 2020. Cap. 6. p. 75-87.

CAPÍTULO II - PRODUÇÃO DE INVERTASE E FRUTOSILTRANSFERASES MICROBIANAS A PARTIR DE FRUTOS AMAZÔNICOS

Lunara Thaís Alves Bastos*, Iara Leandro dos Santos, Alanna Cristine Martins Lima Zambaldi, Fabrício Coutinho de Paula-Elias, Erika Carolina Vieira Almeida, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos, Alex Fernando de Almeida

* Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: bastoslunara@gmail.com

As enzimas são proteínas que atuam como catalisadores de reações químicas, sendo consideradas essenciais para o sistema metabólico de todos os organismos vivos, as quais são comumente utilizadas na biologia molecular, no desenvolvimento de metodologias analíticas e na fabricação de produtos tecnológicos. Embora existam outras fontes enzimáticas, como animais e plantas, a utilização de enzimas microbianas é a mais utilizada, devido à alta taxa de crescimento na obtenção de biomassa, além de não serem afetadas por flutuações sazonais e, portanto, sendo mais viáveis economicamente (MANOOCHEHRI et al., 2020)

As enzimas invertase e frutossiltransferase podem ser isoladas de uma diversidade de fontes microbianas, incluindo bactérias, leveduras e fungos. Exemplos clássicos de produtores de invertase são linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus oryzae*, *Arthrobacter* sp. e *Bacillus macerans* (PANG et al., 2019). Entretanto, *S. cerevisiae*, conhecida como a levedura do padeiro, é mais comumente utilizada para a produção da enzima por apresentar crescimento rápido em meios de culturas simples, alta densidade celular e facilidade de manipulação (ANDJELKOVIĆ et al., 2015). Nadeem et al., (2015) citam linhagens de *Bacillus cereus*, *Arthrobacter globiformis*, *Bifidobacterium breve*, entre outras, como fontes bacterianas para produção de invertase.

A região Amazônica apresenta uma ampla diversidade microbiana que pode contribuir com o setor industrial por meio de estudos que explorem o seu potencial enzimático, mostrando-se como um vasto campo de estudos (PAIVA, 2010). Estima-se que a região amazônica possua aproximadamente 220 espécies de plantas

produtoras de frutas comestíveis. Esses frutos são considerados uma fonte potencial de micronutrientes, entretanto as informações sobre sua microbiota são limitadas (BROINIZI et al., 2007). Dentre os frutos pertencentes ao bioma Amazônico estão a pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth) e tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart).

O tucumã é uma palmeira das terras firmes da Amazônia que desenvolve um mercado de importância para região, sua polpa é muito apreciada e rica em compostos bioativos como flavonóides, β -caroteno e rutina. Também proveniente da Amazônia a pupunha é vista como uma alternativa alimentar devido seu valor nutricional que possui altos níveis de fibra, β -caroteno, gordura, minerais e alguns aminoácidos essenciais. A pupunha não possui proteínas formadoras do glúten, o que pode ser visto como uma matéria-prima de interesse para o desenvolvimento de novos produtos no mercado de alimentos para pacientes com doença celíaca (SILVA et al., 2005; SAGRILLO et al., 2015). A diversidade microbiana pode demonstrar um grande potencial biotecnológico para a produção de novas moléculas e seu isolamento permite identificar novas linhagens microbianas do ecossistema brasileiro, além de explorar, biotecnologicamente, o potencial dessas linhagens para a produção de enzimas (FILHO et al., 2014).

Frutos amazônicos

A biodiversidade brasileira é vista como uma das mais representativas do mundo e inúmeras literaturas já demonstraram o potencial biotecnológico de frutos e vegetais consumidos pela população. O crescente interesse mundial por matérias-primas nativas do Brasil tem causado impulso na realização de pesquisas na região amazônica, que possui inúmeras espécies nativas de plantas com potencial tecnológico, econômico e nutricional, despertando o interesse de pesquisadores que visam o melhor aproveitamento dessas espécies, tornando possível a identificação de novas fontes de matéria-prima de baixo custo, com elevado potencial industrial. A caracterização desses produtos se torna importante para a constatação da presença de compostos bioativos, trazendo também benefícios para população amazônica, gerando renda pelo aumento no consumo do produto (BECKER et al. 2018; CUNHA JUNIOR., 2020). Dentre os diversos frutos encontrados na região amazônica estão presentes a pupunha e tucumã.

A pupunha (*Bactris gasipaes*) é uma palmeira pertencente à família Arecaceae, composta por cerca de 183 gêneros e 2.450 espécies. Todas as partes da planta pode ser utilizada para algum fim comercial, como as flores, que podem ser cozidas e usadas como condimento, as raízes e o caule têm ação vermífida, e o tronco fornece madeira de qualidade (JESUS e ABREU, 2002). A pupunheira é definida como uma palmeira multiuso nativa da América Latina tropical, que fornece frutos comestíveis amiláceos e palmito e já era utilizada de forma ampla durante os tempos pré-colombianos e atualmente Peru, Brasil, Colômbia e Costa Rica são seus maiores produtores. Sua produção comercial começa geralmente de 3 a 5 anos após o plantio e dura de 50 a 75 anos, o diâmetro do fruto varia de 1 a 9 centímetros e a palmeira possui cachos que podem pesar até 12 kg, e produzindo normalmente 75 a 300 frutos por cacho. A colheita é considerada a etapa mais difícil para produção da pupunheira pelo fato dos espinhos e tamanho representarem risco a segurança (CLEMENT et al., 2010; GRAEFE et al., 2013).

O tucumã (*Astrocaryum vulgare* Mart.) é uma palmeira nativa da Amazônia que abrange territórios como Bolívia, Colômbia, Venezuela, Guiana e no Brasil está presente em toda Amazônia ocidental. Possui uso popular na região amazônica onde é utilizada na composição de sorvetes, pastas, doces, entre outros produtos. A palmeira demonstra também grandes potencialidades de aproveitamento em indústrias farmacêutica, cosmética e de biodiesel (FORTES et al., 2016). A fruta tem uma forma elipsoide com comprimento de 3 a 5 cm, espessura de 2 a 4 mm, cor amarelo/laranja. Quando a fruta se encontra madura é fibrosa e gelatinosa, quando consumida é possível aproveitar quase todas as partes da palmeira (SANTOS et al., 2018). Estudos desenvolvidos por Jobim et al. (2014) demonstraram efeitos antibacterianos e antifúngicos do tucumã quando testado contra cepas patogênicas e Baldissera et al. (2017) reportaram que devido ao alto índice de carotenoides na fruta, o óleo de tucumã foi capaz de amenizar as alterações causadas pela hiperglicemia. O fruto também desperta interesse por possuir baixo teor de ácido e açúcares e pelas altas taxas de β -caroteno, precursor da vitamina A, o que esclarece seu potencial antioxidante, além de sua suculência e alto valor energético (SAGRILLO et al., 2015; DA COSTA et al., 2012).

Isolamento de microrganismos em frutos

As plantas vivem intimamente em contato com variados tipos de microrganismos, os quais podem ser considerados epifíticos ou endofíticos, sendo os microrganismos epifíticos aqueles que podem sobreviver e multiplicar na superfície das plantas enquanto os classificados como endofíticos são aqueles que colonizam os tecidos internos das plantas, sem geração de danos para as plantas, pelo contrário, conseguem proteger seu hospedeiro contra ameaças externas, em uma única planta ocorre a diversidade entre as populações microbianas encontradas, mesmo levando em consideração uma pequena diferença de localização ou tempo. Os frutos retratam um micro-habitat propício para o crescimento microbiano devido seu baixo pH e alta concentração de açúcares (SEBASTIANES et al., 2017; THAPA et al., 2017). A biotecnologia atualmente permite a descoberta e produção de bioprodutos agregando valor às suas matérias-primas, o desenvolvimento desses produtos originários da Amazônia proporciona maior fortalecimento na defesa da biodiversidade contribuindo para sua conservação e sustentabilidade (ASTOLFI FILHO et al., 2014). Serra et al. (2019) ao analisarem a microbiota do fruto do cacau amazônico relaram a presença de microrganismos como *Lactobacillus reuteri* e *Lactobacillus murinus*, enquanto Ramos et al. (2020) descreveram a presença de bactérias do gênero *Acetobacter* ao estudarem o fruto do cupuaçu.

Dewan, (2017) relata que as enzimas produzidas pelos microrganismos autóctones dos frutos estão entre os bioprodutos com alto valor agregado e aplicação biotecnológica, ainda esclarece que o mercado tecnológico tem apresentado crescimento contínuo nos últimos anos e alguns estudos relatam um crescimento de US\$ 5 bilhões, em 2016, para US\$ 6,3 bilhões, em 2021 no mercado enzimático. Além da aplicação enzimática, esses microrganismos possuem diversas aplicações, entre elas na indústria farmacêutica e cosmética, em pigmentos alimentares, e como agentes de controle biológico de fitopatógenos (HANADA et al., 2010). Na tabela abaixo é possível visualizar as diversas aplicações de linhagens microbianas isoladas de frutos.

Tabela 1. Linhagens microbianas isoladas de frutos e suas aplicações na indústria enzimática.

Fruto	Microrganismo	Enzima	Aplicação	Referência
Tucumã	<i>Aspergillus niger</i>	Lipase	Síntese de ésteres Resolução racêmica	Fonseca Machado (2020)
Acerola	<i>Candida azyma</i> <i>Cryptococcus laurentii</i>	Protease	Indústria alimentícia – melhora do aroma, sabor, textura, etc.	Trindade et al. (2002)
Pitanga	<i>Rhodotorula gaminis</i> <i>Candida sorbosivorans</i> <i>Pseudozyma antarctica</i>			
Umbu	<i>Cryptococcus sp.</i>	Pectinase	Clarificação de sucos	Trindade et al. (2002)
Mangaba	<i>Pichia membranifaciens</i>			
Pinha	<i>Meyerozyma caribica</i>	Invertase	Produção do açúcar invertido	Araújo et al. (2015)

Neste estudo, a partir do fruto da pupunha foram isolados uma variada gama de microrganismos produtores de invertase, dentre eles leveduras do gênero *Meyerozyma sp.* e linhagens bacterianas como *Bacillus sp.*, *Enterobacter sp.*, *Corynebacterium sp.*, e *Microbacterium sp.* Na literatura a utilização de *Meyerozyma sp.* para produção de invertase é extremamente escassa, porém Araújo (2015) ao isolar essa linhagem do fruto pinha (*Annona squamosa*) conseguiu uma produção de invertase intracelular de 15,83 U/mL. Entretanto invertases produzidas a partir de linhagens de *Bacillus sp.* são mais comumente encontradas. Ahmed et al. (2008) produziu a enzima por *Bacillus macerans*, enquanto Yi et al. (2007) utilizou *Bacillus cereus*. Já a espécie de *Enterobacter sp.* para produção da enzima foi relatada por Zhao et al. (2015). Uma invertase produzida a partir do gênero *Corynebacterium sp.* foi descrita por Nadkarni et al. (1993). Já Liu et al. (2021) identificou uma nova invertase a partir *Microbacterium trichothecenolyticum*. É importante enfatizar que os microrganismos aqui isolados, proveniente do fruto da pupunha podem ser aplicados em outras áreas que não seja a produção da invertase, como descrito

na tabela a seguir.

Tabela 2. Possíveis aplicações dos microrganismos isolados da pupunha.

Microrganismo	Aplicação	Referência
<i>Meyerozyma guilliermondii</i>	Produção de ácidos orgânicos, políalcoois, biocontrole de fitopatógenos.	Yan et al. (2021)
<i>Bacillus sp.</i>	Probióticos na agricultura, Formação de biofilme, desintoxicação de corantes, biocontrole.	Kuebutornye et al. (2019) Ye et al. (2018)
<i>Enterobacter sp.</i>	Produção de biosulfactante e biofertilizante.	Jadhav et al. (2011)

O isolamento de microrganismos autóctones envolve variados cuidados, desde a coleta à realização do experimento no laboratório, ambiente esse que necessita ser adequado para evitar contaminações cruzadas e deterioração dos frutos. Para limpeza da superfície do fruto o tratamento requer o uso de etanol 70%, e hipoclorito de sódio em seguida, finalizando com etanol ou água esterilizada (BATISTA et al., 2018). A etapa-chave para estudo desses microrganismos é o isolamento. Para análise qualitativa esse isolamento pode ser realizado através da distribuição de fragmentos do material de estudo sobre a superfície do meio de cultura, seguindo para incubação em condições adequadas para o crescimento microbiano. Para realização de testes quantitativos as amostras podem ser trituradas e ressuspensas em soluções aquosas ou salinas em suas determinadas diluições seriadas (SILVA et al., 2005)

O isolamento em questão se dá através de técnicas de plaqueamento em superfície ou em profundidade. O primeiro permite a contagem e isolamento dos microrganismos na superfície do meio de cultura, onde a amostra é espalhada pela superfície com o auxílio da alça de Drigalski. Quando esse isolamento é feito em profundidade a amostra é dispensada nas placas de Petri vazias e em seguida o meio de cultura escolhido é despejado sobre a amostra e após solidificação é colocado em incubação para crescimento microbiológico, o qual é

expresso em Unidades Formadoras de Colônias (UFC). É de extrema importância que os meios de cultivo atendam às necessidades nutricionais dos microrganismos. Os fungos filamentosos requerem meios de cultura ricos em carboidratos e pH ácido, como o Ágar Batata Dextrose ou Ágar Sabouraud, adicionando antibióticos para evitar o crescimento indesejado de bactérias. Para se isolar bactérias os meios devem ser ricos em proteínas, sais minerais e com pH alcalino, como o Ágar nutriente ou Ágar Luria-Bertani (LB), com adição de fungicidas para inibir fungos filamentosos e leveduras (LIMA et al., 2020)

A seleção de microrganismos produtores de enzimas através de métodos qualitativos é realizada através de um meio de cultura com nutrientes que garantam o crescimento do microrganismo com adição de uma fonte de carbono indutora da enzima de interesse, como o cloreto de trifeniltetrazólio para revelação da invertase. O resultado desse método é exposto pelo índice enzimático que é dado a partir da relação entre o diâmetro do crescimento das colônias e o diâmetro do halo que se formou em torno da colônia, o que indica uma degradação do substrato indutor utilizado. Essa seleção pode ser realizada também a partir do método quantitativo onde é utilizado o substrato puro em meio tamponado, adequando a temperatura e pH. Essa quantificação é expressa através de uma curva de calibração utilizando o produto da reação (LIMA et al., 2020).

Invertase

Diferente da glicose e da frutose, a sacarose é um açúcar não redutor pelo fato de a ligação glicosídica ocorrer entre o carbono 1 da aldose (glicose) e o carbono 2 da cetose (frutose). As soluções aquosas de sacarose e glicose são dextro-rotatórias, pois causam rotação da luz polarizada plana para a direita, enquanto a solução de frutose é fortemente levorotatória, pois causam rotação da luz polarizada plana para a esquerda. Como a enzima catalisa a inversão do plano da luz na solução de açúcar invertido, então “invertase” é o nome comumente utilizado para esta enzima (NADEEM et al., 2015). A sacarose também pode ser hidrolisada em meio ácido e em temperaturas elevadas, contudo a hidrólise ácida demonstra algumas desvantagens na formação de produtos indesejados, como a produção de hidroximetil furfural (HMF) que altera a coloração do xarope, gasto de alta energia e baixa eficiência, tornando a hidrólise enzimática preferível para

obtenção de um produto com maior potencial de aplicação industrial (SOARES et al., 2019),

A invertase é um dos biocatalisadores mais antigos e conhecidos, pertencente à família das hidrolases glicosídicas (GH) que abrange cerca de 370 enzimas, e possui variadas denominações como seu nome formal β -frutofuranosidase (EC.3.2.1.26) e seu nome sistemático sacarose glicosidase, além de ser conhecida por invertina, frutohidrolase, entre outros (TIMERMAN., 2012). Kulshrestha et al. (2013) explicam que a enzima atua catalisando a hidrólise da ligação glicosídica $\alpha 1 \leftrightarrow 2\beta$ da sacarose em D-glicose e D-frutose formando unidades de monossacarídeos equimolares dando origem ao açúcar invertido amplamente utilizado por diversas indústrias. Além da produção desse açúcar, a enzima quando em concentrações mais elevadas de sacarose apresenta uma propriedade de transferase, o que a agrupa na classe de enzimas transferase, podendo ser utilizada na produção de frutooligossacarídeos (FOS) (BHALLA et al., 2017).

As variadas isoformas com características distintas da invertase estão presentes em diferentes partes das células e são produzidas nas formas intracelular e extracelular a depender do microrganismo estudado. As invertases extracelulares são glicoproteínas compostas por carboidratos, manose e glucosamina, enquanto as invertases intracelulares não possuem carboidratos (MANOOCHEHRI et al., 2020).

Além disso, de acordo com o pH ótimo da enzima, as invertases são classificadas em dois grupos principais: invertases ácidas (4,5-5,5) e invertases neutras ou alcalinas (6,5-8,0). Enquanto as invertases neutras e alcalinas podem ser localizadas no citosol, mitocôndrias ou plastídeos, as invertases ácidas estão ligadas à parede celular ou encontradas em vacúolos (TAUZIN et al., 2014). É relatado que as invertases ácidas são capazes de separar o resíduo da frutose do oligossacarídeo conteúdo frutose, entretanto as invertases alcalinas que são consideradas a principal classe de invertases, são relatadas em várias plantas e cianobactérias (LINCOLN e MORE., 2017). Contudo, as invertases bacterianas mostram potencial de atividade tanto em pH ácido (DISPASQUALE et al., 2009) quanto em alcalino (AWAD et al., 2013) e estão distribuídas em variados organismos como plantas, bactérias leveduras e fungos (Tabela 3).

Tabela 3: Fontes de invertases microbianas e vegetais.

Fonte	Gênero	Referência
Fungos	<i>Aspergillus niger</i>	Dinarvand et al. (2017)
		Lorenzoni et al. (2014)
	<i>Penicillium sp.</i>	Matei et al. (2017)
	<i>Trichoderma sp.</i>	Matei et al. (2017)
Leveduras	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	Bhalla et al. (2017)
	<i>Candida guilliermondii</i>	Espinosa et al. (2014)
Bactérias	<i>Enterobacter asburiae</i>	Kumar et al. (2016)
	<i>Arthrobacter globiformis</i>	Win et al. (2004)
	<i>Lactobacillus brevis</i>	Awad et al. (2013)
Plantas	Agave	Cortes-Romero et al. (2012)
	Camellia	Qian et al. (2016)
	Hévea brasilienses (seringueira)	Liu et al. (2015)

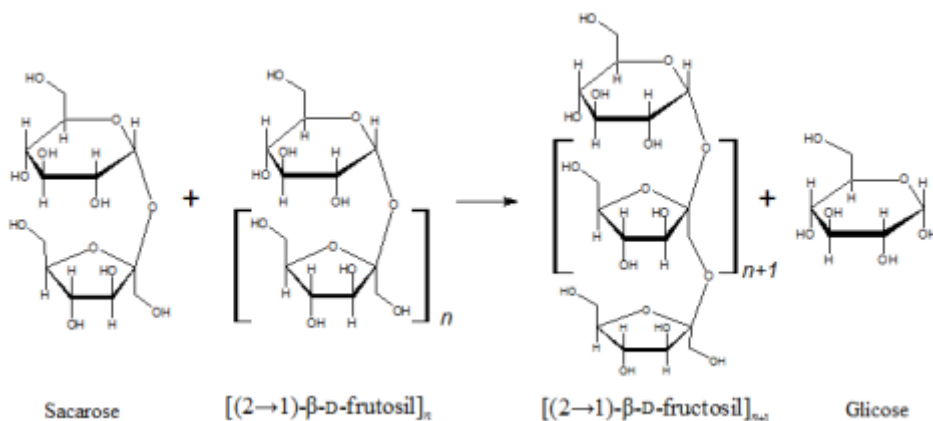
Bergareche et al. (2018) classificam as plantas como um dos mais abundantes produtores de invertase, entretanto o uso das plantas para produção industrial de invertase não é visto como algo economicamente viável pela baixa taxa de crescimento, demora e alto custo de produção, além de sofrerem flutuações sazonais. Pelos microrganismos não sofrerem essas flutuações e possuírem alta taxa de crescimento as invertases microbianas são preferidas na produção industrial, os fungos filamentosos do gênero *Aspergillus* e leveduras como *S. cerevisiae* são os organismos mais utilizados para a produção de invertase (VEANA et al., 2018).

Frutosiltransferase

A 1,2 β -D-frutosiltransferase (E.C 2.4.1.9), ou mais comumente conhecida como frutosiltransferase, é uma enzima que realiza a catálise da conversão da sacarose em fruto-oligossacarídeos mediante a transferência dos agrupamentos frutosil para resíduos de sacarose, além de outros mecanismos de ação que ainda não foram totalmente esclarecidos. A primeira notificação a respeito da enzima ocorreu em 1950, sendo catalogada apenas em 1961, porém ainda é reportada a inexistência de um consenso na literatura a respeito da nomenclatura correta das enzimas envolvidas na produção de FOS que utilizam a sacarose como substrato, sendo observadas ambiguidades entre as

terminologias frutossiltransferase e a frutofuranosidase, mediante os mecanismos hidrolíticos e/ou de transfrutosilação que as mesmas executam (GANAIE et al., 2014; CUNHA et al., 2019; ANTOŠOVÁ e POLAKOVIČ, 2001). No que se refere a estrutura tridimensional da enzima, Chuankhayan et al. (2010) sugere a existência de dois domínios, com um domínio catalítico N-terminal contendo uma dobra de hélice de cinco lâminas ligadas a um domínio em sanduíche em C-terminal, que estão ligados por uma hélice curta de 9 resíduos, a qual estabiliza o dobramento estrutural e influencia diretamente os mecanismos de ação e a caracterização bioquímica.

Figura 1: Reação de transfrutosilação. Fonte: CUNHA (2017).



As frutossiltransferases podem ser divididas em quatro grupos, denominadas 1-SST (sacarose: sacarose 1-frutossiltransferase), 6-SFT (sacarose: frutano 6-frutossiltransferase), 1-FFT (frutano: frutano 1-frutossiltransferase), e G⁶-FFT (frutano: frutano 6G-frutossiltransferase). Para sintetizar frutanos mais complexos, a classe da kestose é a mais utilizada pelas frutossiltransferases, na qual se dá com a conversão da sacarose em 1-kestose, sendo a sacarose:sacarose 1-frutossiltransferase (1-SST) a enzima responsável por essa conversão, enquanto a 1-FFT usa 1-kestose ou frutanos com um maior grau de polimerização como doadores de frutose e tem como função determinar o comprimento da inulina sintetizada, sendo então a 1-SST e 1-FFT necessárias e suficientes para a síntese de frutanos do tipo inulina. A 6-SFT catalisa a transferência de uma unidade de frutose da sacarose a uma ampla

variedade de receptores, produzindo frutanos com unidades de frutose ligadas entre si através da ligação β (2-6). Para a produção de frutanos do tipo neoserie, se faz necessária a enzima G⁶-FFT a qual usa a 1-kestose como um doador de frutose, transferindo a frutose para o resíduo de glicose de sacarose através de uma ligação β (2-6), formando assim a neo-kestose (BATISTA, 2018).

Fruto-oligossacarídeos

Os oligossacarídeos são compostos por dois a 10 monômeros de sacarídeos, enquanto os fruto-oligossacarídeos (FOS) são oligossacarídeos que fazem parte do grupo dos frutanos. O termo FOS é utilizado para frutanos do tipo inulina que apresentam ou não um grupo terminal de glicose. Esses fruto-oligossacarídeos podem ser produzidos a partir da sacarose pela ação de enzimas que possuem atividade transfructosilante, como a frutossiltransferase (FTase, EC 2.4.1.9) que catalisa a transferência da fração frutossil de uma molécula de sacarose para outra, rendendo unidades de FOS maiores.

As enzimas de origem microbiana geralmente são preferíveis para produção de FOS, por serem mais termoestáveis quando comparadas com as provenientes das plantas, apresenta uma maior massa molecular e se controlados os parâmetros do processo podem ser produzidas em qualquer lugar, independente de um período específico para obtenção, o que resulta em biocatalisadores com maiores atividades hidrolíticas e de transfrutosilação e consequentemente maiores rendimentos na produção de FOS (BATISTA et al., 2018; GANAIE et al., 2014).

Tabela 4: Microrganismos produtores de FOS a partir da frutossiltransferase.

Fungos	Substrato	pH/Temp	Método de produção	Produção	Referência
<i>Aspergillus tamarii</i>	Farelo de trigo	5,0 / 60°C	CES	42.71 U/mL	Batista et al. (2020)
<i>Penicillium oxalicum</i>	Sacarose	5,5 / 60°C	Csm	77.77 U/mg	Xu et al. (2015)
Leveduras					
<i>Zalarya sp.</i>	Sacarose	NR/ 30°C	Csm	5,51 U/mL	Yoshikawa et al. (2022)
<i>Candida sp.</i>	Sacarose	5,5/ 25 °C	Csm	16.5 U/mL	Maugeri et al. (2007)
<i>Rhodotula sp.</i>	Sacarose	5,5/ 25 °C	Csm	2.9 U/mL	Maugeri et al. (2007)
Bactéria					
<i>Bacillus macerans</i>	Sacarose	7,0 /37°C	Csm	9,3 U/mg	Park et al. (2001)
<i>Cryptococcus sp.</i>	Sacarose	NR/30°C	Csm	16,2 U/mL	Hernalsteens et al. (2008)
<i>Bacillus licheniformis</i>	Sacarose	6,0/37°C	Csm	1,8 U/mg	Porraz-Do-mínguez et al. (2014)

Legenda: (NR): não relatado; CES: cultivo em estado sólido; CSm: cultivo submerso.

Aplicação na indústria de alimentos

Invertase

Apesar de serem conhecidos dois tipos de invertase, diferindo no seu modo de ação, sendo uma que hidrolisa a sacarose na extremidade da frutose (β -frutosidase), enquanto a outra realiza essa hidrólise na extremidade da glicose (α -glicosidase), ambas as reações resultam em uma mistura de glicose e frutose, conhecida como xarope invertido (CHAUDHARY et al., 2015).

O xarope invertido é mais doce que a sacarose devido à alta doçura da frutose. A frutose é mais indicada que a glicose para pacientes diabéticos além de levar a uma maior absorção de ferro em crianças. Devido essa característica altamente adoçante da frutose, a quantidade de açúcar pode ser aumentada sem a cristalização do material, fazendo com que uma das maiores aplicações da invertase seja a fabricação de xarope com açúcar não cristalizável a partir da sacarose, amplamente utilizado para produção e preparação de mel artificial, biscoitos, marshmallows, cremes, balas, geleias, chocolates, leite em pó para bebês, entre outros usos (ANDJELKOVIC et al., 2015; OLCER et al., 2013; VEANA et al., 2014).

Frutosiltransferase

Bali et al. (2015) relata que a frutosiltransferase é amplamente empregada na produção de frutooligossacarídeos, que são oligômeros de frutose, com baixas calorias e não são metabolizados pelo organismo humano. Por possuírem excelentes características benéficas como propriedades não carcinogênicas, estimulação do aumento das bifidobactérias do cólon, não serem hidrolisados pelas enzimas do trato digestivo, possuem atividades funcionais prebióticas, aumentam o aumento da absorção de cálcio e magnésio, além de atuarem na redução do colesterol e fosfolipídeos no sangue, os FOS acabam sendo mais atrativos por essa característica do que pela sua doçura.

Os FOS são altamente visados para a produção de bebidas funcionais como sucos e néctares, sorvetes, biscoitos, molhos, iogurtes

entre outros, pelo fato de ser altamente higroscópico e quando em solução demonstra uma viscosidade relativamente maior que aquelas de sacarose na mesma concentração (BALI et al., 2015; SINGH et al., 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode se afirmar que frutos são micro habitats de uma vasta gama de microrganismos, podendo estar localizados nas diferentes partes das plantas como raízes, folhas, frutos, etc. A região amazônica possui uma variedade de possibilidades desses microhabitats, demonstrando um alto potencial biotecnológico para produção de enzimas microbianas, sendo essas linhagens ainda pouco exploradas biotecnologicamente. Os produtos dessa exploração de enzimas provenientes da Amazônia podem ser aplicados nos mais variados ramos da indústria, trazendo assim maior valor econômico e biotecnológico para essa região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, S. A. Production of invertase by *Bacillus macerans* immobilized on calcium alginate beads. **J Appl Sci Res**, v. 4, n. 12, p. 1777-1781, 2008.

ANDJELKOVIC, U.; MILUTINOVIC-NIKOLIC, A.; JOVIC JOVICIC, N.; BANKOVIC, P.; BAJT, T.; MOJOVIC, Z.; VUJCIC, Z.; JOVANOVIC, D. Efficient stabilization of *Saccharomyces cerevisiae* external invertase by immobilisation on modified beidellite nanoclays. **Food chemistry**, v. 168, p. 262-269, 2015.

ANTOŠOVÁ, M.; POLAKOVIČ, M. Fructosyltransferase: The enzymes catalyzing production of fructooligosaccharides. **Chemical Papers—Chemické Zvesti**, v. 55, p. 350–358, 2001.

ARAÚJO, M. A.; **Isolamento e seleção de leveduras para produção de enzimas de interesse industrial a partir de frutos do cerrado**. 2015. 67 f. Dissertação (Biotecnologia) – Universidade Católica Dom Bosco,

Campo Grande, 2015.

ASTOLFI FILHO, S.; SILVA, C. G. N.; BIGI, M. F. M. A. Bioprospecção e biotecnologia. **Parcerias Estratégicas**, v. 19, n. 38, p. 45-80, 2015.

AWAD, G. E. A.; AMER, H.; GAMMAL, E. W. E.; HELMY, W. A. Production optimization of invertase by *Lactobacillus brevis* Mm-6 and its immobilization on alginate beads. **Carbohydrate polymers**, v. 93, n. 2, p. 740-746, 2013.

BALDISSERA, M. D.; SOUZA, C. F.; DOLESKI, P. H.; GRANDO, T. H.; SA-GRILLO, M. R.; SILVA, A. S.; LEAL, D. B.; MONTEIRO, S. G.; Treatment with tucumã oil (*Astrocaryum vulgare*) for diabetic mice prevents changes in seric enzymes of the purinergic system: Improvement of immune system. **Biomedicine and Pharmacotherapy**, v. 94, p. 374-379, 2017.

BALI, V.; PANESAR, P. S.; BERA, M. B.; PANESAR, R. Fructo-oligosaccharides: production, purification and potential applications. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 11, p. 1475-1490, 2015.

BATISTA, B. D.; LACAVA, P. T.; FERRARI, A.; TEIXEIRA-SILVA, N. S.; BONATELLI, M. L.; TSUI, S.; MONDIN, M.; KITAJIMA, E. W.; PEREIRA, J. O.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Screening of tropically derived, multi-trait plant growth-promoting rhizobacteria and evaluation of corn and soybean colonization ability. **Microbiological Research**, v. 206, p. 33-42, 2018.

BECKER, M. M.; MANDAJI, C. M.; CATANANTE, G.; MARTY, J. L.; NUNES, G. S. Mineral and bromatological assessment and determination of the antioxidant capacity and bioactive compounds in native Amazon fruits. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

BERGARECHE, D.; ROYO, J.; MUNIZ, L. M.; HUEROS, G. Cell wall invertase activity regulates the expression of the transfer cell-specific transcription factor ZmMRP-1. **Planta**, v. 247, n. 2, p. 429-442, 2018.

BHALLA, T. C.; THAKUR, B. N.; THAKUR, N.; Invertase of *Saccharomyces cerevisiae* SAA-612: Production, characterization and application in synthesis of fructo-oligosaccharides. **LWD - Food Science and Technology**, V. 77, P 178-185. 2017.

BROINIZI, P. R. B.; ANDRADE-WARTHA, E. R. S.; SILVA, A. M. O.; NOVOA, A. J. V.; TORRES, R. P.; AZEREDO, H. M. C.; ALVES, R. E.; MANCINI-FILHO, J.; Evaluation of the Antioxidant Activity of Phenolic Compounds Naturally Contained in By-products of the Cashew Apple (*Anacardium occidentale* L. **Food Science and Technology**, v. 27, p. 902-908, 2007.

CHAUDHARY, S.; SAGAR, S.; KUMAR, M.; SENGAR, R. S.; TOMAR, A. The use of enzymes in food processing: A review. **South Asian J Food Technol Environ**, v. 1, n. 3&4, p. 190-210, 2015.

CLEMENT, C. R.; CRISTO-ARAÚJO, M.; COPPENS, E. G.; PEREIRA, A. A.; PICANÇO, D. Origin and domestication of native Amazonian crops. **Diversity**, v. 2, n. 1, p. 72-106, 2010.

CORTES-ROMERO, C.; MARTINEZ-HERNANDEZ, A.; MELLADO-MOJICA, E.; LOPEZ, M. G.; SIMPSON, J. Molecular and functional characterization of new fructosyltransferases and invertases from *Agave tequilana*. **PLoS One**, v. 7, n. 4, p. 35878, 2012.

CUNHA JUNIOR, R M.; DOMINGUES, P. B. A.; AMBRÓSIO, R. O.; MARTINS, C. A. F.; SILVA, J. G. B. P. C. P.; PIERI, F. A. Brazilian amazon plants: an overview of chemical composition and biological activity. **Natural Resources Management and Biological Sciences**, p. 339-346, 2020.

CUNHA, J. S.; OTTONI, C. A.; MORALES, S. A.; SILVA, E. S.; MAIORANO, A. E.; PERNA, R. F. Synthesis and characterization of fructosyltransferase from *Aspergillus oryzae* IPT-301 for high fructooligosaccharides production. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v. 36, p. 657-668, 2019.

DA COSTA, J. R.; LEEUWEN, J. VAN; COSTA, J. A. In SHANLEY, P.; CYMERYS, M.; SERRA, M.; MEDINA, G. **Tucumã de Amazonas *Astrocaryum aculeatum* G. Mey.** 2012.

DEWAN, S.S. **Global Markets for enzymes in industrial applications**. BCC Research: Wellesly, MA, USA, 2017.

DINARVAND, M.; REZAEI, M.; FOROUGHI, M. Optimizing culture conditions for the production of intra and extracellular inulinase and

invertase from *Aspergillus niger* ATCC 20611 by response surface methodology (RSM). **Brazilian journal of microbiology**, v. 48, p. 427-441, 2017

FONSECA MACHADO, A. P.; NASCIMENTO, R. D. P.; ROCHA ALVES, M.; REGUENGO, L. M.; JUNIOR, M. R. M. Brazilian tucumã-do-Amazons (*Astrocaryum aculeatum*) and tucumã-do-Pará (*Astrocaryum vulgare*) fruits: bioactive composition, health benefits, and technological potential. **Food Research International**, p. 110902, 2021.

FORTES, A. C. R.; DE OLIVEIRA, M. D. S. P.; DE OLIVEIRA, N. P.; SANCHES, E. D. N. M.; CUNHA, E. F. M.; Transferibilidade de locos microssatélites desenvolvidos em outras espécies de palmeiras para *Astrocaryum vulgare* Mart. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 80-86. 2016.

GANAI, M. A.; GUPTA, U. S.; KANGO, N. Screening of biocatalysts for transformation of sucrose to fructooligosaccharides. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 97, p. 12-17, 2013.

GRAEFE, S.; DUFOUR, D.; VAN ZONNEVELD, M.; RODRIGUEZ, F.; GONZALEZ, A. Pupunheira (*Bactris gasipaes*) na América Latina tropical: implicações para a conservação da biodiversidade, gestão de recursos naturais e nutrição humana. **Biodiversidade e conservação**, v. 22, p. 269-300, 2013.

HANADA, R. E.; POMELLA, A. W.; COSTA, H. S.; BEZERRA, J. L.; LOGUERCIO, L. L.; PEREIRA, J. O. Endophytic fungal diversity in *Theobroma cacao* (cacao) and *T. grandiflorum* (cupuaçu) trees and their potential for growth promotion and biocontrol of black-pod disease. **Fungal Biology**, v. 114, n. 11-12, p. 901-910, 2010.

HERNALSTEENS, S.; MAUGERI, F. Properties of thermostable extracellular FOS-producing fructofuranosidase from *Cryptococcus* sp. **European Food Research and Technology**, v. 228, n. 2, p. 213-221, 2008.

JADHAV, M.; KAGALKAR, A.; JADHAV, S.; GOVINDWAR, S. Isolation, characterization, and antifungal application of a biosurfactant produced by *Enterobacter* sp. MS16. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 113, n. 11, p. 1347-1356, 2011.

JESUS, M. A.; ABREU, R. L. S.; Durabilidade natural da madeira de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth), **Acta Amazonica**, v.32, n.4, p.663-675, 2002.

JOBIM, M. L.; SANTOS, R. C. V.; ALVES, C. F. S.; OLIVEIRA R. M.; MOSTARDEIRO, C. P.; SARGRILLO, M, R.; FILHO, O, C, S.; GARCIA, L, F, M.; MANICA-CATTANI, M, F.; RIBEIRO, E. E.; CRUZ, I. B. M.; Antimicrobial activity of Amazon *Astrocaryum aculeatum* extracts and its association to oxidative metabolism. **Microbiological Research**, v. 169, p. 314-323, 2014.

KUEBUTORNYE, F. K.; ABARIKE, E. D.; LU, Y. A review on the application of *Bacillus* as probiotics in aquaculture. **Fish & shellfish immunology**, v. 87, p. 820-828, 2019.

LIMA, A. C. M.; SANTOS, I. L.; BASTOS, L. T. A. DE ALMEIDA, A. F. in: DE ALMEIDA, A. F.; DO AMARAL C. C. A. Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade. **EDUFT**, v. 1, n. 24, p. Lv24-Lv24, 2020.

LINCOLN, L.; MORE, S. Bacterial invertases: occurrence, production, biochemical characterization, and significance of transfructosylation. **Journal of basic microbiology**, v. 57, n. 10, p. 803-813, 2017.

LIU, S.; LAN, J.; ZHOU, B.; QIN, Y.; ZHOU, Y.; XIAO, X.; YANG, J.; GOU, J.; QI, J.; HUANG, Y. HbNIN2, an alkaline/neutral cytosolic invertase, is responsible for sucrose catabolism in rubber-producing laticifers of *Hevea brasiliensis* (for rubber trees). **New Phytologist**, v. 206, n. 2, p. 709-725, 2015.

LORENZONI, A. S.; AYDOS, L. F.; KLEIN, M. P.; RODRIGUES, R. C.; HERTZ, P. F. Synthesis of fructooligosaccharides by highly stable immobilized β -fructofuranosidase from *Aspergillus aculeatus*. **Carbohydrate polymers**, v. 103, p. 193-197, 2014

MANOOCHEHRI, H.; HOSSEINI, N. F.; SAIDIJAM, M.; TAHERI, M.; REZAEI, H.; NOURI, F.; A review on invertase: Its potentials and applications. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 25, p. 101599, 2020.

MATEI, G. M.; MATEI, S.; PELE, M.; DUMITRESCU, F.; MATEI, A. Production of invertase by fungi, characterization of enzymatic activity and

kinetic parameters. **Rev. Chim.(Bucharest)**, v. 68, p. 2205-2208, 2017.

NADEEM, H.; RASHID, M. H.; SIDDIQUE, H.; AZEEM, F.; MUZAMMIL, S.; JAVED, M. R.; ALI, M. A.; RASUL, I.; RIAZ, M.; Microbial invertases: A review on kinetics, thermodynamics, physiochemical properties. **Process Biochemistry**, v. 50, n. 8, p. 1202-1210, 2015.

NADKARNI, M. A.; PANDEY, V. N.; PRADHAN, D. S. An invertase with unusual properties secreted by sucrose-grown cells of *Corynebacterium murisepticum*. **Indian journal of biochemistry & biophysics**, v. 30, n. 3, p. 156-159, 1993.

OLCER, Z.; OZMEN, M. M.; SAHIN, Z. M.; YILMAZ, F.; TANRISEVEN, A. Highly efficient method towards in situ immobilization of invertase using cryogelation. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 171, n. 8, p. 2142-2152, 2013.

PAIVA, C. F.; **Seleção de microrganismos amazônicos produtores de Invertase**. 2010. 30 f. Relatório de Pesquisa. Universidade Federal do Amazonas – Manaus. 2010.

PANG, W. C.; RAMILI, A. N. M.; JOHARI, N. D.; Structural Properties, Production, and Commercialisation of Invertase (Sifat Struktur, Pengeluaran dan Pengkomersialan Invertase). **Sains Malaysiana**, v. 48, n. 3, p. 523-531, 2019.

PARK, J. P.; OH, T. K.; YUN, J. W. Purification and characterization of a novel transfructosylating enzyme from *Bacillus macerans* EG-6. **Process Biochemistry**, v. 37, n. 5, p. 471-476, 2001.

PLASCENCIA-ESPINOSA, M.; SANTIAGO-HERNANDEZ, A.; PAVON-OROZCO, P.; VALLEJO-BECERRA, V.; TREJO-ESTRADA, S.; SOSA-PEINADO, A.; BENITEZ-CARDOZA, C. G.; HIDALGO-LARA, M. E. Effect of deglycosylation on the properties of purified thermophilic invertase from *Candida guilliermondii* MplIIa yeast. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 9, p. 1480-1487, 2014.

RAJASEKARAN, R.; CHANDRASEKARAN, R.; MUTHUSELVAM, M. Microbial biotech - nology Rapid Advances in an area of Massive impact. **Life Sciences Industries News**, 2008.

RAMOS, S.; SALAZAR, M.; NASCIMENTO, L.; CARAZZOLLE, M.; PEREIRA, G.; DELFORNO, T.; NASCIMENTO, M.; DE ALELUIA, T.; CELEGHINI, R.; EFRAIM, P. Influence of pulp on the microbial diversity during cupuassu fermentations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 318, 2020.

SAGRILLO, M. R.; GARCIA, L. F. M.; SOUZA FILHO, O. C.; DUARTE, M. M. F.; RIBEIRO, E. E.; CADONÁ, F. C.; CRUZ, I. B. M. Tucumã fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. *Food Chemistry*, v. 173, p. 741-748, 2015

SANTOS, M. M. R.; FERNANDES, D. S.; CÂNDIDO, C. J.; CAVALHEIRO, L. F.; DA SILVA, A. F.; DO NASCIMENTO, V. A.; HIANE, P. A.; Physical-chemical, nutritional, and antioxidant properties of tucuman (*Astrocaryum huaimi* Mart.) **Ciências Agrárias**, v. 39, n. 4, p. 1517-1531, 2018.

SERRA, J. L.; MOURA, F. G.; PEREIRA, G. V. D. M.; SOCCOL, C. R.; ROGEZ, H.; DARNETA, S. Determination of the microbial community in Amazonian cocoa bean fermentation by Illumina-based metagenomic sequencing. **LWT- Food Science and Technology**, v. 106, p. 229-239, 2019.

SILVA, J. B. F.; CLEMENT, C. R. Wild pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth var. chichagui) in Southeastern Amazonia. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 2, p. 281-284, jun. 2005.

SINGH, S. P.; JADAUN, J. S.; NARNOLIYA, L. K.; PANDEY, A. Prebiotic oligosaccharides: special focus on fructooligosaccharides, its biosynthesis and bioactivity. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 183, n. 2, p. 613-635, 2017.

TAUZIN, A. S.; SULZENBACHER, G.; LAFOND, M.; DESSEAUX, V.; RECA, I. B.; PERRIER, J.; BELLINCAMPI, D.; FOURQUET, P.; LEVEQUE, C.; GIARDINA, T. Functional characterization of a vacuolar invertase from *Solanum lycopersicum*: Post-translational regulation by N-glycosylation and a proteinaceous inhibitor. **Bioquímie**, v. 101, p. 39-49, 2014.

THAPA, S.; PRASANNA, R.; RANJAN, K.; VELMOUROUGANE, K.; RAMAKRISHNAN, B. Nutrients and host attributes modulate the abundance and functional traits of phyllosphere microbiome in rice.

Microbiology Research, v. 204, p. 55–64, 2017

TIMERMAN, A. P. The isolation of invertase from baker's yeast—an introduction to protein purification strategies. **Protein Purif**, p. 29-52, 2012.

TRINDADE, R. C.; RESENDE, M. A.; SILVA, C. M.; ROSA, C. A. Yeasts associated with fresh and frozen pulps of Brazilian tropical fruits. **Systematic and Applied Microbiology**, v. 25, n. 2, p. 294-300, 2002.

VEANA, F.; FLORES-GALLEGOS, A. C.; GONZALEZ-MONTEMAYOR, A. M.; MICHEL-MICHEL, M.; LOPEZ-LOPEZ, L.; AQUILAR-ZARATE, P.; RODRIGUEZ-HERRERA, R. Invertase: An enzyme with importance in confectionery food industry. **Enzymes in Food Technology**, p. 187-212, 2018.

XU, Q.; ZHENG, X.; HUANG, M.; WU, M.; YAN, Y.; PAN, J.; FENG, J. X. Purification and biochemical characterization of a novel β -fructofuranosidase from *Penicillium oxalicum* with transfructosylating activity producing neokestose. **Process Biochemistry**, v. 50, n. 8, p. 1237-1246, 2015

YAN, W.; GAO, H.; QIAN, X.; JIANG, Y.; ZHOU, J.; DONG, W.; JIANG, M. Biotechnological applications of the unconventional yeast *Meyerozyma guilliermondii*. **Biotechnology Advances**, v. 46, p. 107674, 2021.

ZHAO, Y.; WU, Q.; ZHANG, Z.; WANG, Z.; WEI, Y.; HUANG, R.; DU, L. Expression and characterization of a neutral *Enterobacter cloacae* GX-3 invertase. **Wei sheng wu xue bao= Acta Microbiologica Sinica**, v. 55, n. 4, p. 467-475, 2015.

CAPÍTULO III - PECTINASES MICROBIANAS DE FRUTOS: FONTES DE OBTENÇÃO E APLICAÇÃO INDUSTRIAL

Iara Leandro dos Santos*, Lunara Thaís Alves Bastos, Alanna Cristine Martins Lima Zambaldi, Fabrício Coutinho de Paula-Elias, Erika Carolina Vieira Almeida, Claudia Cristina Auler do Amaral Santos, Alex Fernando de Almeida

* Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: yara_dias15@outlook.com

O Brasil possui grande variedade de frutas nativas com alto valor nutricional e potencial econômico ainda pouco explorado, sendo necessários estudos a fim de agregar valor e desenvolver novas formas de aproveitamento. A Amazônia se destaca nesse cenário por possuir mais de 200 espécies frutíferas comestíveis o que equivale a 44% da diversidade dessa planta no Brasil (NEVES et al., 2015). Entre essas espécies de frutas encontram-se o tucumã (*Astrocaryum vulgare*) e a pupunha (*Bactris gasipaes*), que são palmeiras pertencentes à família *Arecaceae*, muito populares na região norte do Brasil. (MAIA et al., 2014).

O tucumã possui características nutricionais atraentes. A sua polpa apresenta compostos bioativos como flavonoides e β -caroteno. A pupunha, a qual apresenta epicarpo e mesocarpo variando de amarelo a laranja, é consumida principalmente após cocção em água salgada. É uma fruta com altos níveis de fibra alimentar, óleos, carotenoides (β -caroteno, γ -caroteno, licopeno), minerais e aminoácidos essenciais (COSTA et al., 2013; CHISTÉ; FERNANDES, 2016).

O bacupari (*Garcinia gardneriana*) é um fruto nativo do Brasil, encontrado principalmente na Amazônia. O gênero *Garcinia* possui uma diversidade de compostos bioativos, como benzofenonas, xantonas e flavonoides. Os compostos bioativos presentes nos extratos da casca e semente do fruto possuem propriedades antimicrobianas, ansiolíticas, leishmanicidas e fotoprotetoras (RODRIGUES et al., 2021, DE CASTRO MOREIRA et al., 2017).

Além de todas as propriedades nutricionais, pupunha,

tucumã e bacupari apresentam grande potencial para obtenção de microrganismos endofíticos, esses microrganismos constituem um grupo interessante com um potencial para a descoberta de inúmeros bioprodutos, como por exemplo, enzimas (VESPERMANN et al., 2017).

As enzimas são muito utilizadas em processos industriais por serem catalisadores ecológicos e corretos. A sua origem microbiana possui maior interesse industrial devido sua susceptibilidade a manipulações genéticas, favorecendo o melhoramento de linhagens para o emprego em processos industriais. Dessa forma, considerando a rica biodiversidade brasileira, existe um interesse considerável em se encontrar espécies de microrganismos com potencial para aplicação biotecnológica (CLAUS, 2017).

Diversidade de frutos amazônicos

A Amazônia apresenta a maior biodiversidade do mundo com espécies frutíferas nativas que possuem características sensoriais únicas e uma variedade de compostos benéficos à saúde, dentre essas frutas nativas encontram-se o bacupari (*Garcinia gardneriana*), pupunha (*Bactris gasipaes*) e o tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) (MELO et al., 2021).

O bacupari é uma planta frutífera de origem amazônica pertencente à família *Clusiaceae*, seus frutos são bagas de 3 a 4 cm de comprimento e 3 cm de diâmetro. Possui formato oval, casca amarela, polpa branca mucilaginosa com sabor adocicado e contém 3 sementes. (SANTA-CECÍLIA et al., 2011).

O fruto possui características nutricionais interessantes, apresenta 20,12 g/100 g de carboidratos, 0,48 g/100 g de proteínas, 24,19% de açúcares, 0,90 mg/100 g de ácido ascórbico e 0,21 g/100 g de lipídios (MARQUES et al., 2017; SCHNEIDER et al., 2020).

Pesquisas demonstram que os compostos bioativos presentes nos extratos da casca e semente do bacupari apresentam propriedades anti-inflamatórias, ansiolíticas, antimicrobianas, leishmanicidas e fotoprotetoras. Apesar dos estudos realizados sobre as propriedades fitoquímicas, farmacêuticas e medicinais desta fruta, atualmente existem poucos relatos na literatura sobre a sua utilização no desenvolvimento de produtos na indústria alimentícia (VELOSO et al., 2018; MELO et al., 2021).

A pupunheira (*Bactris gasipaes* (Kunth)) é uma palmeira nativa

da Amazônia pertencente à família *Arecaceae*. Seus frutos são pequenas drupas com comprimento de 4 a 6 cm e largura de 3 a 5 cm, apresenta formas diversificadas (cônica, ovóide ou elipsoide) e peso que pode variar de 20 a 205 gramas. Sua polpa é incolor, carnosa e amilácea, possui uma única semente (rígida/ fibrosa) e sabor agridoce suave (NERI-NUMA et al., 2018; DA COSTA et al., 2019).

A pupunha é uma fruta altamente nutritiva, possui 62,28% de carboidratos, 3,90% de proteínas, 18,73% de lipídios e 4,11% de fibras. Além disso, esta fruta destaca-se pelo seu alto teor de vitamina A, três vezes maior do que a dose diária recomendada. A vitamina A desempenha papéis fisiológicos importantes como modulação de funções ópticas, reprodutivas e imunológicas (SANTOS et al., 2017; HU et al., 2020).

O *Astrocaryum vulgare* é uma palmeira pertencente à família *Arecaceae*, conhecido por uma diversidade de nomes no Brasil, como tucumã-arara, tucumã- piranga, tucumã-piririca, tucum-assu, tucum-bravo, tucum-da-serra, tucum-do-matto e tucum-purupuru, os frutos do tucumã são drupas ovóides, possuem apenas uma semente por fruto e mesocarpo fibroso e nutritivo com coloração que varia do amarelo ao laranja. O fruto tem diâmetro de 5 a 6 cm e peso que varia de 70 a 75 gramas, sendo muito consumido *innatura* ou utilizado em preparações de pratos regionais (MATOS et al., 2019).

O tucumã apresenta em sua composição centesimal 412,73 kcal de energia, 44,9g/100g de umidade, 10,9g/100g de fibras, 3,5g/100g de proteínas, 8,5g/100g de carboidratos e 40,5g/100g de gorduras. Além disso, possui uma das maiores concentrações de provitamina A-betacaroteno com 52 mg/100g de polpa (DE ROSSO; MERCADANTE, 2007).

Isolamento de microrganismos autóctones de frutos

Os frutos apresentam uma grande variedade de microrganismos, como bactérias, leveduras e bolores e essa diversidade está associada a diversos fatores como condições ambientais, características nutricionais, condições físico-químicas, estágio de maturação, entre outros (FESSARD; REMIZE, 2019).

Os microrganismos são classificados em epifíticos, quando habitam a superfície das plantas ou endofíticos, quando colonizam os tecidos internos. Os endofíticos possuem aplicações na agroindústria,

meio ambiente e na biotecnologia (ADELEKE; BABALOLA, 2021).

O isolamento de microrganismos autóctones consiste inicialmente, na eliminação dos microrganismos epifíticos, através da lavagem da superfície com etanol 70% seguido de tratamento com hipoclorito de sódio e, novamente, tratamento com etanol ou água esterilizada (BATISTA et al., 2018).

Os métodos de isolamento podem ser realizados por meio da distribuição de fragmentos do material sobre a superfície do meio de cultura e incubação das amostras em condições adequadas por determinado período para o crescimento microbiano. Para testes quantitativos, as amostras podem ser trituradas e através de suspensões aquosas ou solução salina, nas suas devidas diluições seriada, as amostras são inoculadas em meio de culturas apropriados (SILVA et al., 2005).

O isolamento de uma cultura de microrganismos é realizado por técnicas de plaqueamento em um meio de crescimento seletivo. O plaqueamento em superfície permite a contagem e o isolamento dos microrganismos que crescem na superfície do meio de cultura, enquanto no plaqueamento em profundidade, a amostra é inoculada em placas de petri vazias, e o meio de cultura é vertido sobre a amostra, homogeneizado e deixado em repouso até sua solidificação (LIMA et al., 2020; AMANN et al., 1995). Na Tabela 1 são apresentados alguns microrganismos endofíticos isolados de frutos.

Tabela 1. Isolamento de microrganismos endofíticos de frutos.

Fonte	Microrganismo isolado		Leveduras	Referência
	Bactérias	Fungos		
Achachairu			<i>Candida carpophila</i>	Barros et al.,(2019)
Bacaba	<i>Ochrobactrum tricipiti</i>		<i>Candida intermedia</i>	Barros et al.,(2019)
Araçá-boi		<i>Candida ciferri</i> , <i>Candida carpophila</i> , <i>Rhodotorula</i>		Barros et al., (2019)

Pixirica	<i>Bacillus sp.</i> , <i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i> , <i>Citrobacter freundii</i>			Dias et al., (2015)
Araçá	<i>Enterobacter sp.</i>			Dias et al., (2015)
Ananás	<i>Microbacterium testaceum</i> , <i>Burkholderia sordicola</i>			Dias et al., (2015)
Jatobá	<i>Enterobacter aerogenes</i> , <i>Bacillus</i>			Dias et al., (2015)

Na biotecnologia os endofíticos são conhecidos pela produção de várias enzimas, como celulases, lipases, pectinases, proteases e xilanas. A aplicação dessas enzimas incluem biomateriais, celulose, indústria de cosméticos, detergentes, alimentos, couro, papel, produtos farmacêuticos e têxteis (BEZERRA et al., 2012).

Enzimas pectinolíticas

As enzimas pectinolíticas são um grupo de enzimas que agem sobre os resíduos de ácido galacturônico. Sua classificação é baseada na preferência pelo tipo de substrato (pectina, ácido pectico ou protopectina), pelo rompimento da ligação glicosídica, lise ou hidrólise e pelo seu modo de ação (endoenzima ou exoenzima). Elas classificam-se em protopectinases, esterases e as despolimerases que incluem as liases (pectina liase e pectato liases) e as hidrolases (poligalacturonases e polimetilgalacturonases) (ALKORTA et al., 1998; JAYANI et al., 2005).

Protopectinases (E.C. 3.2.1.99) atuam na hidrólise da

protopectina, originando ácido péctico e pectina. Elas são classificadas em dois tipos, o tipo A responsável pela clivagem na parte interna da molécula do ácido poligalacturônico da protopectina e o tipo B que cliva a parte externa nas cadeias de polissacarídeos que podem estar conectados às cadeias de ácido poligalacturônico, constituintes da parede celular. Essa enzima pode ser obtida de diferentes fungos, leveduras e bactérias, possui atividade ótima dentro da faixa de pH de 3,0 a 6,0 e temperatura de 30 a 40 °C (JAYANI et al., 2005; ALKORTA et al., 1998; ZHANG et al., 2018).

Pectinesterases (EC 3.1.1.11): catalisam a desesterificação da pectina por remoção do grupo metoxil das substâncias pécticas, formando ácido péctico. Essa enzima atua de preferência no grupo metil éster da unidade de galacturonato próxima a uma unidade de galacturonato não esterificada. Essa enzima está presente em muitas preparações enzimáticas comerciais e possui ação em uma ampla faixa de pH (4 a 8) e atua em temperaturas de 40 °C a 50 °C. (ALKORTA et al., 1998; JAYANI et al., 2005)

As despolimerases são classificadas em hidrolases que catalisam a hidrólise de ligações glicosídicas α -1,4 e as liases que atuam por transeliminação das ligações glicosídicas. As hidrolases incluem as poligalacturonases e as polimetilgalacturonases. As poligalacturonases (E.C. 3.2.1.15) agem na hidrólise α -1,4 das ligações glicosídicas entre dois resíduos de ácido galacturônico com a introdução de água pela ponte de hidrogênio. Essa enzima apresenta ação endo, quando hidrolisam de forma randômica as ligações entre os resíduos de ácido galacturônico, liberando oligogalacturonatos, ou ação exo, quando catalisa a hidrólise das cadeias a partir da extremidade não redutora, liberando ácidos monogalacturônicos (JAYANI et al., 2005). As polimetilgalacturonases também catalisam a quebra das ligações glicosídicas α 1→4, se diferenciando devido à preferência pelo substrato altamente metoxilado (JAYANI et al., 2005; TAPRE; JAIN, 2014).

As poligalacturonases possuem um pH ideal para hidrólise variando de 3,5 a 5,5 e temperaturas de 30 °C a 50°C. As endopoligalacturonases (E.C. 3.2.1.15) e exopoligalacturonases (E.C. 3.2.1.67) são sintetizadas em condições ambientais ácidas por microrganismos, algumas exopoligalacturonases são produzidas em condições básicas altas (cerca de pH 11) por *Bacillus licheniformis*,

Bacillus sp e *Fusarium oxysporum* (JAYANI et al., 2005).

As liases (E.C. 4.2.2.10) são enzimas que quebram ligações glicosídicas resultando em galacturonídeos com uma ligação insaturada entre os carbonos 4 e 5 do final não redutor do ácido galacturônico formado. Elas são classificadas em pectina liase e pectato liase (KASHYAP et al., 2001).

A Pectina liase atua de forma randômica em cadeias altamente esterificadas de pectina, produzindo metiloligogalacturonatos insaturados através de mecanismos de transeliminação de ligações glicosídicas. A pectato liase rompe ligações glicosídicas do ácido poligalacturônico, formando produtos insaturados através de mecanismos de transeliminação (JAYANI et al., 2005). A pectina liase possui o pH ótimo de 5,5 e temperatura ótima entre 40 °C e 50 °C, enquanto a pectato liase, atua em pH ótimo alcalino de 7,5 e 10 e temperatura ótima entre 40 °C e 50 °C (JAYANI et al., 2005; ALKORTA et al. 1998).

Fontes de obtenção de enzimas pectinolíticas

As enzimas podem ser obtidas de diversas fontes, entretanto a maioria é originada de fungos, leveduras e bactérias. As enzimas de origem microbiana apresentam um enorme potencial devido à ampla diversidade microrganismos produtores, taxa de crescimento mais rápida, susceptibilidade de manipulação genética e tempo de fermentação mais curto (AMIN et al., 2019).

A maioria dos microrganismos utilizados para a produção de enzimas é de origem fúngica, seguido de bactérias. Entre os fungos produtores de enzimas, o mais utilizado em escala industrial pertence ao gênero *Aspergillus niger*, devido seu status *Generally Recognized as Safe* (GRAS) com 48% das patentes disponíveis e entre as bactérias, o gênero *Bacillus* detêm 92% das patentes (RODRIGUES et al., 2020; AMIN et al., 2019). A Tabela 2 apresenta diferentes tipos de microrganismos como fonte para a produção de pectinases.

Tabela 2. Fontes microbianas de enzimas pectinolíticas.

Enzima	Microrganismo produtor	Fonte de isolamento	Referência

Pectinase	<i>Streptomyces fumigatiscleroticus</i>	Cascas de frutas	Govindaraji; Vuppu, (2020)
Pectinase	<i>Aspergillus</i> sp.	Amostras de solo	KC et al., (2020)
Pectina metil-terase Endo-poligalacturonase	<i>Pichia pastoris</i>	<i>Sphenophorus levis</i> (gorgulho da cana-de-açúcar)	Habrylo et al.,(2018); Evangelista et al., (2015)
Exo-poli-galacturonase	<i>Bacillus pumilus</i>	Amostra de solo	Sharma; Satyanarayana,(2020)
Pectina liase	<i>Bacillus subtilis</i>	Folhas de feijão mungu (<i>Vignaradiata</i>)	Saharan; Sharma, (2019)
Pectinase	<i>Candida</i> sp.	Efluente de indústria Têxtil	Aggarwal et al., (2020)
Pectinase	Espécies de <i>Geomyces</i>	Esponjas marinhas	Poveda et al.,(2018)

No trabalho de Mohandas et al. (2018), sete isolados de frutas e vegetais em decomposição foram utilizados para a produção de pectinase. A cepa bacteriana mais eficiente foi identificada como *Bacillus sonorensis* com atividade enzimática máxima de 2,43 ($\mu\text{M}/\text{mL}/\text{min}$). Este trabalho é o primeiro relato sobre a produção de pectinase por *Bacillus sonorensis*.

A obtenção e produção de enzimas microbianas envolvem processos como prospecção, isolamento, identificação dos microrganismos seletivos, triagem através de meios seletivos e o processo de produção por meio de fermentação submersa ou fermentação em estado sólido (HASAN et al., 2020).

A produção elevada e viável de enzimas para aplicação comercial exige que condições de fermentação usadas para crescimento de microrganismos e produção de enzimas sejam otimizadas. Os parâmetros ótimos variam dependendo da cepa utilizada, dos

parâmetros ambientais e condições nutricionais (KC et al., 2020).

Aplicações de enzimas pectinolíticas

Extração de compostos bioativos

Os compostos bioativos são metabólitos secundários presentes em pequenas quantidades em alimentos e plantas que trazem benefícios à saúde. Devido as suas propriedades benéficas há um interesse cada vez maior de explorar esses compostos na área de alimentos nutracêuticos, produtos farmacêuticos, cosméticos e aditivos alimentares. Esses compostos incluem: vitaminas insolúveis em água, alguns grupos de corantes alimentares (como carotenóides), antioxidantes (como compostos fenólicos), óleos essenciais e compostos aromáticos (MARATHE et al., 2019; REZAEI et al., 2019).

Os métodos convencionais para a extração de compostos bioativos utilizam o poder de extração do solvente e o calor aplicado ou sua combinação. Os principais métodos utilizados são a extração de Soxhlet, hidrodestilação e maceração. No entanto, esses métodos podem não resultar na recuperação quantitativa do composto alvo, são demorados, usam solventes caros e de alta pureza, além de alto consumo de energia e causam danos ambientais (AIRES, 2017).

A extração assistida por enzima é um método de tratamento enzimático da matéria-prima realizada antes do processo convencional de extração, este pré-tratamento reduz o tempo de extração e uso de solventes, além de aumentar o rendimento e a qualidade do produto final (PURI et al., 2012).

Na extração enzimática, enzima e substrato se unem para formar um complexo no qual durante o processo, as ligações nas moléculas do substrato se quebram para resultar na formação de produtos. Alguns fatores podem afetar a interação enzima-substrato como o tamanho do material vegetal, concentração de enzima, tempo de reação, temperatura, pH e razão sólido-líquido. Portanto para uma extração eficaz é essencial conhecer a composição da parede celular da matéria-prima, bem como a propriedade catalítica, modo de ação e condições ótimas das enzimas (MARIĆ et al., 2018). A Tabela 3 apresenta algumas enzimas utilizadas na extração de compostos bioativos.

Tabela 3. Aplicação de enzimas na extração de compostos bioativos.

Enzima	Bioativo extraído	Rendimento	Referência
Celulase e pectinase	Carotenóides de abóbora	Celulase (33,3%) Pectinase (28,6%)	Ghosh; Biswas, (2016)
Pectinase e celulase	Carotenóides totais e licopeno de tomate	Carotenóides (127 mg/kg) Licopeno (89,4 mg/kg)	Strati et al.,(2015)
Pectinase, celulase e tanase.	Compostos fenólicos da casca verde de pistache	Pectinase (42%), Celulase (22%), Tanase (51%).	Ghandahari Yazdi et al., (2019)
Poligalacturonase, pectinase, liase, celulase e xilanase.	Recuperação de cromoplastos contendo carotenóides de tomates	Cromoplastos (4,30 mg/Kg), carotenóides totais (5,43 mg/kg)	Lombardelli et al., (2020)

Indústrias de sucos

No processamento de sucos de frutas, a suspensão turva causada pela dispersão coloidal de polissacarídeos (pectina, celulose, hemicelulose, lignina e amido) é um dos principais fatores que causam a perda de qualidade do produto final (DAL MAGRO et al., 2016). Portanto, para eliminar a turbidez e produzir um suco com alto nível de qualidade é necessário que os sucos passem por um processo de

clarificação, uma etapa fundamental para a comercialização (ULLAH et al., 2019).

O uso de enzimas no processamento industrial de sucos tem ganhado destaque. A clarificação enzimática aumenta o rendimento, a estabilidade no armazenamento, apresenta um produto final com mais qualidade, é sustentável, além de apresentar alta eficiência catalítica e baixo consumo de energia, com isso, é uma alternativa com grande potencial para substituição de métodos convencionais (SHARMA et al., 2017).

As pectinases são as enzimas mais utilizadas no processamento de sucos, elas atuam na hidrólise da pectina, amolecendo o tecido da parede celular e reduzindo sua capacidade de retenção de água, o que resulta em uma máxima extração do suco, liberação de componentes fenólicos e nutricionais, além de reduzir a viscosidade (VIVEK et al., 2019). A tabela 4 apresenta aplicações da enzima pectinase na clarificação de diversos sucos de frutas.

Tabela 4. Enzimas pectinases na clarificação de sucos de frutas.

Enzima	Microrganismo	Suco de fruta Clarificado	Referência
Pectinase	<i>Bacillus subtilis</i>	Amora preta, maçã, laranja e abacaxi	Prajapati et al., (2021)
Poligalacturonase	<i>Calonectria pteridis</i>	Maçã	Ázar et al.,(2020)
Exopoligalacturonase	<i>Penicillium janczewskii</i>	Maçã, manga e pês-sego	Amin et al., (2020)
Poligalacturonase	<i>Aspergillus niger</i>	Romã	Patidar et al., (2020)
Pectinase	<i>Aspergillus</i> sp.	Laranja	KC et al., (2020)
Pectina liase	<i>Aspergillus niger</i>	Maçã, laranja e romã	Portucu et al., (2017)

Pectina liase	<i>Bacillus pumilus</i>	Uva preta, romã, pêssego, maçã e ameixa	Babagil; Nadaroglu (2022)
---------------	-------------------------	-----------------------------------------	---------------------------

Ázar et al. (2020), aplicaram uma poligalacturonase produzida pelo fungo *Calonectria pteridis* na clarificação de suco de maçã, como resultado alcançaram um aumento de 10,65% no volume do suco e 40,93% na quantidade de açúcares redutores em relação ao controle. Com relação ao pH, a atividade máxima da poligalacturonase foi alcançada em pH 4,0.

Vinhos

A utilização de coquetéis enzimáticos comerciais com atividade de pectinase é muito comum durante o processo de vinificação para quebrar a pectina da parede celular da uva (MERÍN; MORATA DE AMBROSINI, 2015).

As enzimas são adicionadas durante o processo de esmagamento das uvas ou no mosto de vinho, propiciando melhora na extração do suco, aumentando o conteúdo de terpenos no vinho, melhorando a liquefação, clarificação e filtrabilidade, liberando mais compostos de cor e sabor e contribuindo positivamente para o bouquet do vinho (VAN RENSBURG; PRETORIUS, 2000).

No trabalho de Merín e Morata de Ambrosini (2020) foram avaliados os efeitos da cepa pectinolítica *Aureobasidium pullulans* aplicada à maceração pré-fermentativa a frio e fermentação a baixa temperatura, na extração de antocianinas, propriedades tecnológicas e nos atributos sensoriais dos vinhos Malbec. Os vinhos com a cepa pectinolítica apresentaram maiores antocianinas totais, índice polifenólico total e intensidade de cor, além de tempos de filtração 30% menores.

Indústria de ração animal

As pectinases são usadas no coquetel enzimático para a produção de rações para animais. A enzima é adicionada na alimentação animal com o objetivo de eliminar os fatores antinutricionais da pectina e da celulose e liberar os nutrientes, melhorando com isso a digestibilidade

do animal em uma ampla faixa, e promovendo a viscosidade do tecido vegetal (AJILA et al., 2012).

Biorrefinaria

As biorrefinarias são indústrias que possuem uma gama de tecnologias capazes de transformar a biomassa em seus componentes mais simples como proteínas, açúcares, triglicerídeos (MAZZEI et al., 2021).

Enzimas pectinases são muito utilizadas em biorrefinarias para degradar polissacarídeos presentes na parede celular de resíduos agroindustriais. Esses resíduos são processados até a redução em açúcares simples para que possam ser convertidos em bioetanol ou usados como açúcares fermentáveis (HOSSAIN et al., 2017).

Biolimpeza

No processo de biolimpeza as pectinases atuam removendo ceras e outras impurezas não celulósicas, fornecendo uma superfície mais suave para o algodão. Os processos de lavagem alcalina utilizam produtos químicos como hidróxido de sódio, porém o custo total é alto e o processo é realizado em alta temperatura e requer várias lavagens como pós- tratamentos, o que demanda alto consumo de água e energia. Com isso a lavagem enzimática, que é conhecida como bio-limpeza, é um processo eficaz para limpar o tecido sem impacto negativo no meio ambiente ou no tecido (AGGARWAL et al., 2020).

Aggarwal et al. (2020) produziram uma pectinase extracelular termoestável de *Candida* sp. isolada de efluente da indústria têxtil para aplicação na biolimpeza. O extrato enzimático bruto apresentou estabilidade enzimática em uma ampla faixa de temperatura (30°C a 90°C), e atingiu um pico máximo em pH 5,5. A lavagem-branqueamento convencional resultou em maior perda de peso (3,9%) em comparação com a biolimpeza enzimática e todas as amostras biolimpas com a enzima apresentaram absorvência instantânea, o que indica a eficiência da lavagem, bem como a adequação do algodão tratado para o tingimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pectinases são enzimas que possuem uma ampla aplicação em diversos seguimentos da indústria, como na indústria de alimentos para despectinização de vários sucos de frutas, melhorando a qualidade, rendimento e filtrabilidade dos sucos. Possuem influência nas propriedades sensoriais e tecnológicas dos vinhos, têm aplicações nas indústrias de tratamento de têxteis, papel, ração animal, biorrefinaria e extração de pigmentos. As enzimas podem ser obtidas de diversas fontes, mas a maioria é originada de bactérias, fungos e leveduras, com isso os frutos são excelentes fontes de microrganismos devido possuírem em sua composição diversos nutrientes que influenciam o crescimento microbiano, porém muitas frutas nativas amazônicas ainda permanecem pouco exploradas por falta de informações sobre seu potencial tecnológico e seus compostos nutricionais. Dessa forma, é necessário explorar a biodiversidade desses frutos para encontrar espécies produtoras de enzimas propriedades para aplicações biotecnológicas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELEKE, B.S.; BABALOLA, O.O. Roles of plant endosphere microbes in agriculture - a review. **Journal of Plant Growth Regulation**. p. 1-18, 2021.

AGGARWAL, R.; DUTTA, T.; SHEIKH, J. Extraction of *Candida* pectinase isolated from textile industry effluent and its application in cotton bio-peeling. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**. v. 17, p. 100291, 2020.

AIRES, A.; DIAS, C.; CARVALHO, R.; SAAVEDRA, M.J. Analysis of glycosylated flavonoids extracted from acerola stems as antibacterial agents against pathogenic *Escherichiacoli* isolates. **Acta Biochimica Polonica**. v. 64, n. 2, p. 265-271, 2017.

AJILA, C.M.; BRAR, S.K.; VERMA, M.; TYAGI, R.D.; GODBOUT, S.; VALÉRO, J.R. Bioprocessing of agro-by-products for animal feed. **Critical Reviews in Biotechnology**. v. 32, n. 4, p. 382-400, 2012.

ALKORTA, I.; GARBISU, C.; LLAMA, M. J.; SERRA, J. L. Industrial applications of pectinenzymes: a review. **Process Biochemistry**. v. 33, p. 21–28, 1998.

AMANN, R.I; LUDWIG, W. SCHLEIFER, K.H. Phylogenetic identification and in situ detection of individual microbial cells without culture. **Microbiological Reviews**. v. 59, n. 1, p. 143-169, 1995.

AMIN, F.; MOHSIN, A.; BHATTI, H. N.; BILAL, M. Production, thermodynamic characterization, and fruit juice quality improvement characteristics of an Exo- polygalacturonase from *Penicillium janczewskii*. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)- Proteins and Proteomics**. v. 1868, n. 5, p. 140379, 2020.

AMIN, F.; BHATTI, H.N.; BILAL, M. Recent advances in microbial pectinase production strategies — A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v.122, p. 1017-1026, 2019.

ÁZAR, R.I.L.; DA LUZ MORALES, M., MAITAN-ALFENAS, G.P.; FALKOSKI, D.L.; ALFENAS, R.F.; GUIMARÃES, V.M. Clarification of apple juice by a purified polygalacturonase from *Calonectria pteridis*. **Food and Bioproducts Processing**. v. 119, p. 238-245, 2020.

BABAGIL, A.; NADAROGLU, H. Purification of the pectin lyase enzyme from the bacterium *Bacillus pumilus* by the three-phase partition method (TPP), nanoflower preparation and investigation of fruit juice clarification. **Biointerface Research in Applied Chemistry**. v. 12, p. 3938-55, 2022.

BARROS, R.G.C.; DE OLIVEIRA, C.S.; OLIVEIRA, L.T.S, PEREIRA, U.C.; SILVA, T.O.M.; DENADAI, M.; NARAIN, N. Increased production of phenolic antioxidants in submerged cultures of endophytic microorganisms isolated from achachairu fruits (*Garcinia humilis*), araçá-boi (*Eugenia stipitata*) and bacaba (*Oenocarpus bacaba*). **LWT**. v. 111, p. 370-377, 2019.

BATISTA, B. D.; LACAVA, P. T.; FERRARI, A.; TEIXEIRA-SILVA, N. S.; BONATELLI, M. L.; TSUI, S.; MONDIN, M.; KITAJIMA, E. W.; PEREIRA, J. O.; AZEVEDO, J. L.; QUECINE, M. C. Screening of tropically derived, multi-trait plant growth-promoting rhizobacteria and evaluation of corn and soybean colonization ability. **Microbiological Research**, v. 206, p. 33-42, 2018.

BEZERRA, J.D.P.; SANTOS, M.G.S.; SVEDESE, V.M.; LIMA, D.M.M.; FERNANDES, M.J.S.; PAIVA, L.M.; SOUZA-MOTTA, C.M. Richness of endophytic fungi isolated from *Opuntia ficus-indica* Mill. (Cactaceae) and preliminary screening for enzyme production. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**. v. 28, n. 5, p. 1989-1995, 2012.

CHISTÉ, R. C.; FERNANDES, E. Bioactive compounds from Amazonian fruits and their antioxidant properties. **Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters–Part I**. Bentham Science Publishers, p. 244-264, 2016.

CLAUS, H. Microbial enzymes: relevance for winemaking. In: **Biology of Microorganisms on Grapes, in Must and in Wine**. Springer, Cham, p. 315-338, 2017.

COSTA, A.G.V.; GARCIA-DIAZ, D.F.; JIMENEZ, P.; SILVA, P.I. Bioactive compounds and health benefits of exotic tropical red-black berries. **Journal of Functional Foods**. v.5, p.539-549, 2013.

DA COSTA, R.D.S.; DA CRUZ RODRIGUES, A.M.; BORGES LAURINDO, J.; DA SILVA, L.H.M. Development of dehydrated products from peach palm-tucupi blends with edible film characteristics using refractive window. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 2, p. 560-570, 2019.

DAL MAGRO, L.; HERTZ, P.F.; FERNANDEZ-LAFUENTE, R.; KLEIN, M.P.; RODRIGUES, R.C. Preparation and characterization of a Combi-CLEAs from pectinases and cellulases: a potential biocatalyst for grape juice clarification. **CSR advances**. v. 6, n. 32, p. 27242-27251, 2016.

DE CASTRO MOREIRA, M. E.; NATAL, D. I. G.; TOLEDO, R. C. L.; RAMIREZ, N. M.; RIBEIRO, S. M. R.; DOS ANJOS BENJAMIN, L.; DOS SANTOS, M. H. Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduce high-fat diet-induced obesity in rats. **Journal of Functional Foods**, v. 29, p. 143-153, 2017.

DE ROSSO, V.V.; MERCADANTE, A.Z. Identification and quantification of carotenoids, byHPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits. **Journal of agricultural and food chemistry**. v. 55, n. 13, p. 5062-5072, 2007.

DIAS, M.; DA CRUZ PEDROZO MIGUEL, M.G.; DUARTE, W.F.; SILVA, C.F.; SCHWAN, R.F. Biodiversity of epiphytic bacteria in Brazilian Cerrado fruits and their potential for cellulolytic activity. **Annals of microbiology**. vol. 65, n. 2, p. 851-864, 2015.

EVANGELISTA, D.E.; DE PAULA, F.F.P.; RODRIGUES, A.; HENRIQUE-SILVA, F. Pectinases from *Sphenophorus levis* Vaurie, 1978 (Coleoptera: Curculionidae): putative accessory digestive enzymes. **Journal of Insect Science**. V. 15, n. 1, 2015.

FESSARD, A.; REMIZE, F. Genetic and technological characterization of lactic acid bacteria isolated from fruits and vegetables grown in a tropical climate. **International Journal of Food Microbiology**. v. 301, p. 61-72, 2019.

GHANDAHARI YAZDI, A.P.; BARZEGAR, M.; SAHARI, M.A.; AHMADI GAVLIGHI, H. Optimization of enzyme-assisted aqueous extraction of phenolic compounds from pistachio green shell. **Food science and nutrition**. v. 7, n. 1, p. 356-366, 2019.

GHOSH, D.; BISWAS, P.K. Enzyme-assisted extraction of carotenoids from pumpkin tissues. **Indian Chemical Engineer**. v. 58, n. 1, p. 1-11, 2016.

GOVINDARAJI, P. K.; VUPPU, S. Characterisation of pectin and optimization of pectinase enzyme from novel *Streptomyces fumigatiscleroticus* VIT-SP4 for drug delivery and concrete crack-healing applications: An eco-friendly approach. **Saudi journal of biological sciences**. v. 27, n. 12, p. 3529-3540, 2020.

HABRYLO, O.; EVANGELISTA, D.E.; CASTILHO, P.V.; PELLOUX, J.; HENRIQUE-SILVA, F. *Sphenophorus levis* pectinases: Potential for biotechnological applications. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 112, p. 499-508, 2018.

HASSAN, M.A.; ABOL-FOTOUH, D.; OMER, A.M.; TAMER, T.M.; ABBAS, E. Comprehensive insights into microbial keratinases and their implication in various biotechnological and industrial sectors: a review. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 154, p. 567-583, 2020.

HOSSAIN, N.; ZAINI, J.H.; MAHLIA, T.M.I A review of bioethanol production from plantresidue biomass by yeast fermentation. **International Technology Magazine**. 2017.

HU, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, Y.; XIONG, H.; WANG, F.; WANG,Y., & Lu, Z. Effects of starch and gelatin encapsulated vitamin A on growth performance, immune status and antioxidant capacity in weaned piglets. **Animal Nutrition**, v. 6, n. 2, p. 130-133, 2020.

JAYANI, R.S.; SAXENA, S.; GUPTA, R. Microbial pectinolytic enzymes: a review. **Process Biochemistry**. vol. 40, n. 9, p. 2931-2944, 2005.

KASHYAP, D. R.; VOHRA, P. K.; CHOPRA, S.; TEWARI, R. Applications of pectinases in the commercial sector: a review. **Bioresource technology**. v. 77, p. 215–227, 2001.

KC, S.; UPADHYAYA, J.; JOSHI, D. R.; LEKHAK, B.; KUMAR CHAUDHARY, D.; RAJ PANT, B.; RAGHAVAN, V. Production, characterization, and industrial application of pectinase enzyme isolated from fungal strains. **Fermentation**, v. 6, n. 2, p. 59, 2020.

LIMA, A. C. M.; SANTOS, I. L.; BASTOS, L. T. A. DE ALMEIDA, A. F. in: DE ALMEIDA, A. F.; DO AMARAL C. C. A. Frutos Amazônicos: Biotecnologia e Sustentabilidade. **EDUFT**, v. 1, n. 24, p. Lv24 Lv24, 2020.

LOMBARDELLI, C., LIBURDI, K.; BENUCCI, I.; ESTI, M. Tailored and synergistic enzyme-assisted extraction of carotenoid-containing chromoplasts from tomatoes. **Food Processing and Bioproducts**. v. 121, p. 43-53, 2020.

MAIA, G. C. H. M.; CAMPOS, M. S.; BARROS-MONTEIRO, J.; CASTILLO, J. E. L.; FALEIROS, M. S.; SALES, R. S. A.; GALENO, D. M. L.; LIRA, E.; SOUZA, F. C. A.; ORTIZ, C.; MORALES L.; CARVALHO, R. P. Effects of *Astrocaryum aculeatum* Meyer (*Tucumã*) on diet-induced dyslipidemic rats. **Journal of nutrition and metabolism**, v. 2014, 2014.

MARATHE, S.J.; JADHAV, S.B.; BANKAR, S.B.; DUBEY, K.K.; SINGHAL, R.S. Improvements in the extraction of bioactive compounds by enzymes. **Current Opinion in Food Science**. v. 25, p. 62-72, 2019.

MARIĆ, M.; GRASSINO, A.N.; ZHU, Z.; BARBA, F.J.; BRNČIĆ, M.; BRNČIĆ, S.R. An overview of traditional and innovative approaches to extracting pectin from plant food residues and by-products: ultrasound, microwave and enzyme-assisted extraction. **Trends in Food Science & Technology**, v. 76, p. 28-37, 2018.

MARQUES, H.P.; BARBOSA, S.; NOGUEIRA, D.A.; SANTOS, M.H.; SANTOS, B.R.; SANTOS-FILHO, P.R. Contents of protein and phenolic compounds in callus of Bacupari cultivated with sources of glutamine and nitrogen. **Brazilian Journal of Biology**, v. 78, p. 41-46, 2017.

MATOS, K.A.N.; LIMA, D.P.; BARBOSA, A.P.P.; MERCADANTE, A.Z.; CHISTE, R.C. Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) bark are by-products classified as very high sources of carotenoids. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MAZZEI, R.; GEBREYOHANNES, A.Y.; PAPAIOANNOU, E.; NUNES, S.P.; VANKELECOM, IF.; GIORNO, L. Enzymatic catalysis with artificial membranes for process intensification in biorefinery-A review. **Biore-source Technology**, p. 125248, 2021.

MELO, A. M.; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; IKEDA, M.; CARPINÉ, D.; RIBANI, R. H. Valorization of the agro-industrial by-products of bacupari (*Garcinia brasiliensis* (Mart.)) through production of flour with bioactive properties. **Food Bioscience**, p. 101343, 2021.

MERÍN, M.G.; MORATA DE AMBROSINI, V.I. Application of a major pectinolytic species on the grape surface, *Aureobasidium pullulans*, in the vinification of low-temperature red wines: development and stability of wine color. **Journal of Wine Research**, v. 31, n. 3, p. 218-239, 2020.

MERÍN, M.G.; MORATA DE AMBROSINI, V.I. Highly active pectinases in cold under wine conditions of non-*Saccharomyces* yeasts for enzyme production during vinification. **Letters in Applied Microbiology**, v. 60, n. 5, p. 467-474, 2015.

MOHANDAS, A.; RAVEENDRAN, S.; PARAMESWARAN, B.; ABRAHAM, A.; ATHIRA, R. S.; KURUVILLA MATHEW, A.; PANDEY, A. Production of pectinase from *Bacillus sonorensis* MPTD1. **Food technology and biotechnology**, v. 56, n. 1, p. 110-116, 2018.

NERI-NUMA, I. A., SANCHO, R. A. S., PEREIRA, A. P. A., PASTORE, G. M. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, v. 103, p. 345-360, 2018.

NEVES, L.C.; TOSIN, J.M.; BENEDETTE, R.M.; CISNEROS-ZEVALLOS, L. Post-harvest nutraceutical behaviour during ripening and senescence of 8 highly perishable fruit species from the Northern Brazilian Amazon region. **Food Chemistry**. 174, 188–196, 2015.

PATIDAR, M. K.; NIGHOJKAR, S.; KUMAR, A.; NIGHOJKAR, A. Pectinolytic enzymes-solid state fermentation, assay methods and applications in fruit juice industries: a review. **3 Biotech**, v. 8, n. 4, p. 199, 2018.

POTURCU, K.; OZMEN, I.; BIYIK, H.H. Caracterização de uma pectina liase alcalina termoestável de *Aspergillus niger* WHAK1 recém-isolada e sua aplicação na clarificação de sucos de frutas. **Arabian Journal for Science and Engineering**. v. 42, n. 1, pág. 19-29, 2017.

POVEDA, G.; GIL-DURAN, C.; VACA, I.; LEVICAN, G.; CHÁVEZ, R. Cold pectinolytic activity produced by filamentous fungi associated with Antarctic Sea sponges. **Biological Research**. v. 51, 2018.

PRAJAPATI, J.; DUDHAGARA, P.; PATEL, K. Production of heat and acid stable pectinase from *Bacillus subtilis* strain BK-3: optimization, characterization and application for fruit juice clarification. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. p. 102063, 2021.

PURI, M.; SHARMA, D.; BARROW, C.J. Enzyme-assisted extraction of bioactive plants. **Trends in biotechnology**, v. 30, n. 1, p. 37-44, 2012.

REZAEI, A.; FATHI, M.; JAFARI, S.M. Nanoencapsulation of bioactive compounds from hydrophobic and poorly soluble foods in different nanocarriers. **Food hydrocolloids**. v. 88, p.146-162, 2019.

RODRIGUES, D. A.; DE SOUSA, B. L.; DA SILVA, J. G.; PEREIRA, G. A.; BOUSADA, G. M.; DA SILVA, A. A.; DOS SANTOS, M. H. Phytotoxic property of metabolites isolated from *Garcinia gardneriana*. **Computational Biology and Chemistry**, v. 92, p. 107460, 2021.

RODRIGUES, H.C.; CARVALHO, A.L.; SOUZA, C.O.; UMSZA-GUEZ, M.A. Evolution of the World and Brazilian Markets for Enzymes Produced by Solid State Fermentation: A Patent Analysis. **Recent Biotechnology Patents**, v. 14, n. 2, p. 112-120, 2020.

SAHARAN, R.; SHARMA, K.P. Production, purification and characterization of *Bacillus subtilis* pectin lyase isolated from moong bean (*Vigna radiata*) leaves. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**. v. 21, p. 101306, 2019.

SANTA-CECÍLIA, Flávia V. et al. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Garcinia brasiliensis*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 133, no. 2, pg. 467-473, 2011.

SANTOS, M.D.F.G.D.; ALVES, R.E.; BRITO, E.S.D.; SILVA, S.D.M.; SILVEIRA, M.R.S.D. Quality characteristics of fruits and oils of palms native to the Brazilian Amazon. **Brazilian Journal of Fruticulture**. v. 39, 2017.

SCHNEIDER, L.C.; LEÃO, K.V.; MACHADO, L.L.; GUIMARÃES, A.R.D. Physical and fruit characterization of bacupari, *Salacia crassifolia* (Mart. ex Schult.) G. Don, from Barreiras-BA. **Brazilian Development Magazine**. v. 6, n. 3, p. 13942-13953, 2020.

SHARMA, D.C.; SATYANARAYANA, T. Thermostable and alkaline exopolysaccharidase from *Bacillus pumilus* dcsr1: Characteristics and applicability. **International Journal of Biological Macromolecules**. v. 164, p. 3340-3348, 2020.

SHARMA, H.P.; PATEL, H.; SUGANDHA. Added enzyme extraction and clarification of fruit juices – A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. v. 57, n. 6, p. 1215-1227, 2017.

SILVA, E. G.; BORGES, M. F.; MEDINA, C.; PICCOLI, R. H.; SCHWAN, R. F. Pectinolytic enzymes secreted by yeasts from tropical fruits. **FEMS Yeast Research**, v. 5, p. 859–865, 2005.

STRATI, I.F.; GOGOU, E.; OREOPOULOU, V. High pressure, enzyme-assisted extraction of carotenoids from tomato residues. **Food Processing and Bioproducts**. v. 94, p. 668-674, 2015.

TAPRE, A. R.; JAIN, R. K. Pectinases: enzymes for fruit processing industry. **International Food Research Journal**, v. 21 n.2, p. 447-453, 2014.

ULLAH, S.; IRFAN, M.; SAJJAD, W.; RANA, QUA, Hasan, F.; Khan, S.; Ali Shah, A. Production of an alkali-stable xylanase from *Bacillus pumilus* K22 and its application in clarifying tomato juice. **Food Biotechnology**, v. 33, n. 4, p. 353-372, 2019.

VAN RENSBERG, P.; PRETORIUS, I.S. Enzymes in Winemaking: Harnessing Natural Catalysts for Efficient Biotransformations-A Review. **South African Journal of Enology and Viticulture**, v. 21, n. 1, p. 52-73, 2000.

VELOSO, C.D.C.; SILVA, M.B.D.; MEGDA, M.D.O.; SANTOS, M.H.D.; GIUSTI-PAIVA, A.; VILELA, F.C. Evaluation of the anxiolytic effect of 7-epiclusianone isolated from *Garcinia brasiliensis* in mice. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 28, p. 378-381, 2018.

VESPERMANN, K.A.; PAULINO, B.N.; BARCELOS, M.C.; PESSÔA, M.G.; PASTORE, G.M.; MOLINA, G. Biotransformation of α - and β -pinene into flavoring compounds. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 101, n. 5, p. 1805-1817, 2017.

VIVEK, K.; MISHRA, S.; PRADHAN, R.C. Optimization of ultrasound-assisted enzymatic extraction of Sohiong (*Prunus nepalensis*) juice. **Journal of Food Process Engineering**, v. 42, n. 1, p. 12948, 2019.

ZHANG, J.; ZHAO, L.; GAO, B.; WEI, W.; WANG, H.; XIE, J. Protopectinase production by *Paenibacillus polymyxa* Z6 and its application in the extraction of pectin from apple pomace. **Food Processing and Preservation Magazine**, v. 42, n. 1, p. 13367, 2018.

CAPÍTULO IV - LIPASE MICROBIANA: MERCADO, PRODUÇÃO, IMOBILIZAÇÃO E APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

Jéssyca Cipriano Barbosa Vasconcelos; Alex Fernando de Almeida; Claudia Cristina Auler do Amaral Santos*

* *Universidade Federal do Tocantins, Laboratório de Microbiologia de Alimentos, Quadra 109 Norte, Avenida NS15, ALCNO-14, Plano Diretor Norte, CEP: 77001-090 Palmas-TO. E-mail: claudiauler@mail.uft.edu.br*

O grande potencial industrial das lipases microbianas deve-se à alta estabilidade fora da célula, variedade de atividade catalítica e maior rendimento quando comparadas às enzimas de origem vegetal e animal (BALDO et al., 2020). Dentre os microrganismos, as bactérias se destacam como promissoras fontes de lipases, sendo os gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* e *Staphylococcus* já reconhecidos como produtores da enzima (LIU & KOKARE, 2023; OLIVEIRA et al., 2014; SALIHU et al., 2016).

Na indústria de alimentos as lipases microbianas podem ser utilizadas como aditivos em alimentos (panificação, queijos, manteiga, chás) para modificar e realçar as propriedades sensoriais, em detergentes para hidrolisar gorduras, no tratamento de efluentes oleosos, e ainda, nas indústrias farmacêuticas (octalactinas, nonanolídeos), de cosméticos, agroquímicas e oleoquímicas, por isso a demanda no mercado é elevada (METHA et al., 2021).

Apesar da importância, os custos de produção são um grande obstáculo para a aplicação industrial de lipases. Uma alternativa para diminuir estes custos é a utilização de resíduos ou subprodutos industriais como fonte alternativa de nutrientes para o crescimento microbiano e produção de enzimas. Além disso, o uso desses materiais como substrato para o cultivo de microrganismos visando a produção de enzimas pode minimizar os problemas ambientais relacionados ao seu descarte (BALDO et al., 2020).

O Brasil importa grande parte das enzimas utilizadas, entretanto, o país tem um potencial gigantesco para ser autossuficiente pelo fato de apresentar uma das maiores biodiversidades do mundo, com abundância em matérias-primas que poderiam ser utilizadas como fontes de inúmeras pesquisas para a produção de enzimas, e de

substratos de baixo custo para as fermentações (DABAJA et al., 2018).

MERCADO GLOBAL E BRASILEIRO DE ENZIMAS

O mercado global de enzimas foi avaliado em US\$ 10,25 bilhões em 2022, e deverá chegar a US\$ 16,9 bilhões até 2027, registrando uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 6,8 % de 2022 a 2027, principalmente devido ao uso nos setores da indústria de alimentos, bebidas, farmacêutico, produção de biocombustíveis e alimentação animal (RESEARCH AND MARKET, 2023). Nesse cenário, as lipases são responsáveis por 10% das enzimas no mercado mundial e esse valor tende a crescer 8,8% até 2025, e dessa forma atrair cada vez mais interesse de produção a partir de novas fontes (DA SILVA FRANÇA et al., 2020).

O mercado global de enzimas alimentares prevê uma receita de US\$ 3,1 bilhões em 2026, com um CAGR de 6,4 %. A indústria foi avaliada em aproximadamente US\$ 2,2 bilhões em 2021 (MARKERTS RESEARCH REPORT, 2023). Esse aumento exponencial se deve a demanda crescente por ingredientes naturais e aditivos alimentares, conscientização sobre os benefícios das enzimas, crescimento da indústria de processamento de alimentos, o surgimento de novos campos de aplicação de enzimas e o desenvolvimento de novas tecnologias que utilizem enzimas industriais (TEIXEIRA & MILAGRE, 2020).

As lipases devem ser o tipo enzimático com maior crescimento até 2026 e a região da Ásia-Pacífico (China, Índia, Austrália, Nova Zelândia, Japão, Malásia, Indonésia, Tailândia, Filipinas, Vietnã e Cingapura) poderá ser o mercado que mais cresce durante o período de 2019 a 2026, esse domínio deve-se principalmente às inovações tecnológicas em equipamentos, fibras sintéticas, logística e globalização dos negócios (MARKERTS RESEARCH REPORT, 2023).

As principais empresas que operam no mercado de enzimas alimentares no Brasil são: ABF Ingredientes, DuPont de Nemours Inc. (EUA), Koninklijke DSM NV (Holanda), Chr. Hansen Holding AS (Dinamarca), Novozymes (EUA). Destas empresas, cerca de 60% em estados da região Sul e Sudeste. Essas empresas atuam na exportação de enzimas industriais e seus concentrados (proteases, celulase, amilases, papaina, coalho, α -amilase) (RESEARCH AND MARKET, 2023; PINTO, 2021).

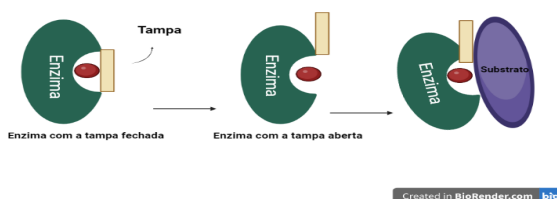
Segundo os dados do Ministério da Economia, Indústria, Comércio Exterior e Serviços, no ano de 2022 o Brasil exportou um total de 6.162 toneladas de enzimas e preparações enzimáticas, os principais compradores foram a Argentina, Paraguai e China. Porém, as importações representaram 2,8 % das importações mundiais de enzimas, correspondendo a 18.478 toneladas de enzimas principalmente dos seguintes países: Dinamarca, Estados Unidos e França.

LIPASES

As lipases (triacylglycerol acyl hydrolase, E.C. 3.1.1.3) são enzimas pertencentes a classe das α/β -hidrolases e catalisam diversas reações, como a hidrólise de ligações ésteres transformando triglicerídeos em diglicerídeos, monoglicerídeos, ácidos graxos e glicerol e também podem catalisar, na ausência de água, reações de esterificação, transesterificação e acidólise (WADIA & JAIN, 2017).

O sítio ativo das α/β hidrolases consiste de uma tríade catalítica altamente conservada composta por um resíduo nucleofílico, que no caso das lipases é sempre uma serina, um resíduo catalítico ácido, que pode ser um ácido aspártico ou ácido glutâmico, e um resíduo catalítico básico, geralmente uma histidina. O resíduo ácido catalítico está localizado após a cadeia $\beta 6$ ou $\beta 7$ da folha β central, e está ligado por hidrogênio à histidina catalítica que está localizada em uma alça após a cadeia $\beta 8$ da dobra da α/β -hidrolase (CARVALHO, 2015).

As lipases possuem uma proteção do seu sítio catalítico denominada “tampa”, que é uma estrutura helicoidal hidrofóbica. Esta estrutura secundária define o estado da enzima, onde com a tampa aberta, a enzima está na sua conformação ativa, e o substrato pode entrar em contato com o sítio ativo, realizando assim a catálise enzimática. Já com a tampa fechada, a conformação enzimática está inativa, e o substrato não tem acesso ao sítio ativo (FRANCOLINI et al., 2020). A abertura ou fechamento desta estrutura está inteiramente ligada ao ambiente que a enzima se encontra e devido a sua característica hidrofóbica, microambientes hidrofóbicos auxiliam para uma conformação aberta (Figura 1).

Figura 1. Representação da conformação aberta e fechada da lipase frente ao substrato

Fonte: Próprio Autor (2023).

As características das lipases dependem principalmente das fontes de extração, mas de modo geral, as propriedades que elas apresentam incluem alta especificidade (regiospecificidade, quimiospecificidade e enantioseletividade), estabilidade à variação térmica, à variação de pH, à presença de íons, a solventes orgânicos, além de possuírem natureza biodegradável e não tóxica, apresentarem alta eficiência catalítica e atuarem sem a necessidade de um cofator (KIRAN et al., 2016).

PRODUÇÃO DE LIPASES

As lipases são onipresentes na natureza e são produzidas por plantas, animais e microrganismos, porém as fontes microbianas se mostram mais promissoras para esta síntese enzimática com fins de aplicação industrial, por diversos motivos: produção por processos fermentativos em grande escala com regularidade, requerimentos nutricionais simples, alta variedade, rendimento elevado quando comparado às lipases de origem vegetal e animal e alta estabilidade fora da célula (BALDO et al., 2020; RIGO et al., 2021).

Muitos microrganismos são conhecidos como potenciais produtores de lipases. Fazem parte desta categoria os fungos, leveduras e bactérias (Gram-positivas e Gram-negativas), sendo que as lipases produzidas por estes microrganismos são, em sua maioria, consideradas extracelulares (OLIVEIRA, 2020). Dentre os microrganismos produtores, as espécies que se destacam

para a produção são: os fungos, especialmente dos gêneros de *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Geotrichum*, *Mucor*, *Rhizomucor*, leveduras dos gêneros *Candida*, *Yarrowia*, *Pichia*, *Rhodotorula* e *Saccharomycopsis*, e bactérias dos gêneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Burkholderia* e *Staphylococcus* (LIU & KOKARE, 2023).

Mais da metade das lipases industriais é produzida por leveduras e fungos filamentosos e cerca de 30% por bactérias. Apenas 8% são produzidas por animais e 4% por plantas (RIGO et al., 2021). Em estudos científicos relacionados à capacidade de produção de lipase extracelular, 70% têm foco em fungos filamentosos, seguido pelas leveduras 23,3% e bactérias 6,6% (GUEDES et al., 2021). Portanto, o estudo de bactérias como fonte de lipase se torna justificável.

A produção das lipases microbianas está ativamente relacionada a vários fatores, como os nutricionais (concentrações de nutrientes como fonte de carbono e nitrogênio e presença ou ausência de indutores) e fatores físicos (aeração do meio, agitação, temperatura e pH) (BHARATHI et al., 2019; COLLA et al., 2016). Logo, estes fatores devem ser avaliados e selecionados de acordo com o microrganismo e com a isoforma da lipase produzida, pois a conformação da proteína que confere a sua atividade enzimática pode ser afetada, interferindo na sua capacidade catalítica (FARINAS, 2015; DE MORAIS JUNIOR et al., 2016).

Os sistemas de fermentação submersa e em estado sólido são técnicas amplamente utilizadas para produzir a enzima lipase a partir de microrganismos (BHARATHI, et al., 2019). A fermentação submersa é a mais utilizada para produção enzimática e é caracterizada pela suspensão dos microrganismos em meio fermentativo líquido, rico em nutrientes dissolvidos. A preferência por esse método em escala industrial se dá pela facilidade das etapas posteriores para purificação dos produtos finais, que pode ser realizada por um simples processo de filtração ou centrifugação, sendo possível ainda, a utilização da massa celular para cultivos futuros (OLIVEIRA, 2015; TEIXEIRA, 2017; MESSIAS et al., 2011).

Na fermentação em estado sólido, os microrganismos se desenvolvem utilizando o substrato insolúvel como fonte de carbono e energia na ausência de água livre (SOCCOL et al., 2017; RIGO et al., 2021; BHARATHI et al., 2019). Na Tabela 1 estão apresentadas as condições, fontes de nutrientes e sistemas utilizados para a produção

de lipase de diversas linhagens de *Pseudomonas*.

Tabela 1. Produção de lipase do gênero *Pseudomonas* entre 2012 a 2023.

Microorganism	Tipo de Cultivo	Fonte de Carbono	Fonte de nitrogênio	Condições de cultivo	Rendimento	Autor
P. aeruginosa PseA	FES	Maltose, Torta de pihãõ- -manso	Nitrato de sódio	120 h, pH 7,0, 30°C, 140 rpm	11,37 U.g ⁻¹	Car- valho, (2022)
<i>P.aerugino- sa</i> VSJK R-9	FSM	Azeite de oliva	Peptona	24h, pH 7,0, 30°C, 100 rpm	34,24 U.mL ⁻¹	Sutar et al., (2023)
P. putida 922	FSM	Óleo de	Peptona e Extrato de Levedura	48 h, pH 10 30°C	24 U.mL ⁻¹	Fátima et al., (2014)
<i>P.plecoglossi- cida</i> S7	FSM	Óleo de	Maltose	48 h, pH 7,0, 37°C, 150 rpm	70 U.mg ⁻¹	Chou- dhar, (2023)
Pseudomonas sp.	FSM	Goma de lecitina	Extracto de leve- dura	24h, pH 9,0, 35°C, 200 rpm	272,6 U.mL ⁻¹	Baldo et al., (2020)
<i>P. fluorescens</i>	FSM	Óleo de soja	Triptona	24 h, pH 7,0, 30°C, 150 rpm	15 U.mL ⁻¹	Luz et al., (2021)
P. aeruginosa	FSM	Dextrose	Extrato de levedura, peptona	24h, pH 7,0, 30°C, 125 rpm	37 U.mL ⁻¹	Zou- aqui et al., (2012)
P. aeruginosa MTCC 10,055	FSM	Azeite de oliva	Extrato de levedura	22h, 37°C, pH 9,0, 100 rpm	6815 U.mL ⁻¹	Bisth et al., (2013)

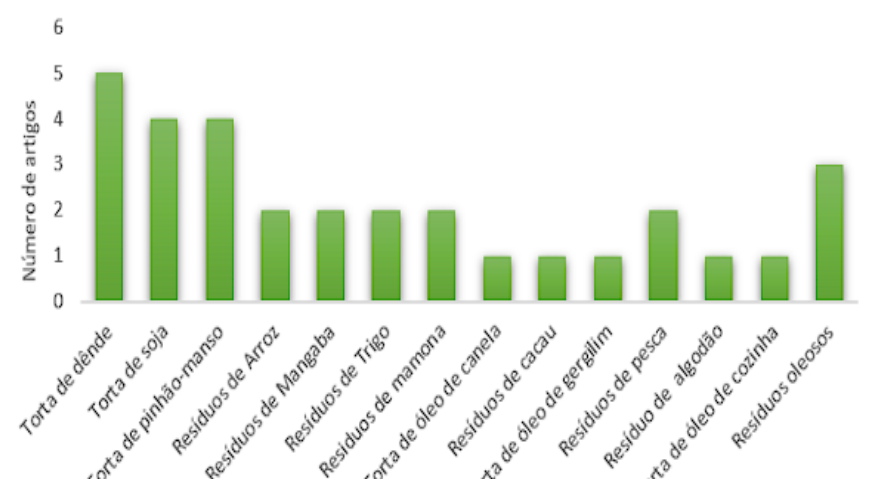
P. aeruginosa AAU2	FSM	Torta de pinhão-manso	Nitrato de potássio	60h, pH 6,7, 30°C, 150 rpm	0,43 U.mL ⁻¹	Bose et al., (2013)
--------------------	-----	-----------------------	---------------------	----------------------------	-------------------------	---------------------

Nota: FSM: fermentação submersa e FES: fermentação em estado sólido. **Fonte:** Próprio Autor (2023).

UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE LIPASE

Para tornar mais viável a produção destas enzimas algumas estratégias podem ser adotadas, como a substituição dos componentes do meio de cultivo por materiais de baixo custo ou até mesmo resíduos (THAKUR, 2012). Os resíduos agroindustriais são recursos em potencial para o uso biotecnológico por serem produzidos em grandes quantidades e por apresentarem um uso ainda limitado. Além disso, apresentam um baixo custo, grande disponibilidade e composição nutritiva, contendo fontes de carbono, nitrogênio e minerais. A utilização desses resíduos ainda soluciona problemas ambientais, que poderiam ser causados por seu descarte incorreto (TREICHEL et al., 2010). A Figura 2 ilustra alguns dos resíduos mais utilizados pelos pesquisadores no período de 2010 a 2022 para a produção de lipase.

Figura 2. Resíduos agroindustriais mais utilizados em publicações científicas como substrato para produção de lipase microbiana.



Fonte: Adaptado de Guedes et al., (2021).

Resíduos agroindustriais como o glicerol bruto e efluente do biodiesel são substratos ricos em lipídios que podem ser utilizados como alternativa de indutores para a produção de lipase de *Pseudomonas*, tornando-se subprodutos com valor agregado (OLIVEIRA et al., 2018; SILVEIRA et al., 2016; BALDO et al., 2020).

O efluente do biodiesel é um líquido viscoso com cor branca opaca, alcalino e contém alto teor de moléculas orgânicas (ácidos graxos livres, ésteres metílicos, acilgliceróis, metanol e glicerol), gordura residual, sais solúveis (cloretos e sulfatos), catalisadores remanescentes, sabão de sódio e potássio (VELJKOVIĆ et al., 2014). Devido essa riqueza de compostos, vários processos de tratamento foram desenvolvidos para os efluentes gerados pela produção de biodiesel via transesterificação em meio alcalino (físico-químicos, eletroquímicos e oxidação avançada) (GALEANO, 2021). Contudo, não se observa o desenvolvimento de pesquisas avaliando o seu potencial uso biotecnológico.

A possibilidade de aproveitamento desse resíduo agroindustrial tem grande importância ambiental e econômica. Ele pode representar uma promissora fonte de carbono para produção de lipase bacteriana (UDAY et al., 2016). Ao avaliar diversos resíduos agroindustriais (milhocina, glicerol bruto, óleo de algodão e efluente do biodiesel) como indutores em cultivo submerso para produção de lipase por *Pseudomonas aeruginosa* TCMK 71 autóctone de fruto amazônico, Vasconcelos (2023) constatou que a maior produção foi observada com efluente do biodiesel ($2,46 \pm 0,01 \text{ U.mL}^{-1}$), seguida de óleo de algodão ($1,98 \pm 0,03 \text{ U.mL}^{-1}$).

OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LIPASE

A utilização de ferramentas estatísticas tem sido explorada para a otimização das condições de cultivo de microrganismos para o aumento na produção de enzimas (OHARA et al., 2015; UDAY et al., 2016). Na Tabela 2 estão relacionados os delineamentos experimentais que têm sido utilizados para maximizar a produção de lipase.

Tabela 2. Delineamentos experimentais utilizados para produção de lipase bacteriana

Microrganismo	Tipo de cultivo	Delineamento	Parâmetros otimizados	Autor
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> TCMK 71	FSM	DCCR	Concentração de fonte de carbono e nitrogênio, pH, temperatura	Vasconcelos, (2023)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	FSM	DCCR	Rotação, tempo, aeração e tamanho do inóculo	Corrêa, (2015)
<i>Bacillus licheniformis</i>	FSM	DCCR	Temperatura, pH, teor de umidade, biosurfactante	Sahoo et al. (2018)
<i>Burkholderia cepacia</i>	FSM	DCCR	Concentração da fonte de carbono e nitrogênio, pH	Castiglioni et al. (2018)
<i>Bacillus</i> sp	FSM	DCCR	Concentrações de resíduos agroindustriais como de fonte de carbono	Rezende, (2022)
<i>Staphylococcus hominis</i>	FSM	DCCR	pH, temperatura, agitação	Behera et al. (2019)

Nota: FSM: fermentação submersa. DCCR: Delineamento Composto Central Rotacional. MSR: Metodologia de superfície de resposta. **Fonte:** Próprio Autor (2022).

A metodologia de superfície de resposta (MSR) é um planejamento experimental bastante vantajosa em relação aos métodos convencionais disponíveis, devido ao número reduzido de experimentos e a busca da interação entre os fatores que possibilitam a construção de modelos, avaliação dos efeitos, dos fatores e obtenção das condições ótimas para respostas desejáveis (SHUKLA et al., 2007). Dentre os métodos existentes, o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) é um planejamento que abrange uma área maior de respostas experimentais desejadas, incluindo os pontos axiais, permitindo avaliar efeitos lineares e quadráticos das variáveis sobre as respostas e permitindo também o estabelecimento de um modelo matemático descritivo das variações das respostas em função dos fatores avaliados (RIZZO, 2020).

Portanto, o desenvolvimento e validação de modelos

matemáticos são ferramentas importantes para o controle e otimização do processo pela redução da quantidade de experimentos, sendo válido avaliar o seu potencial na produção de lipase (THAKUR, 2012).

IMOBILIZAÇÃO DE LIPASE

Por motivos práticos e econômicos, a imobilização de lipases é vantajosa para sua utilização em aplicações industriais. Quando se utiliza uma lipase imobilizada, se consegue, em alguns casos, maiores eficiências catalíticas, além de realizar alterações nas características bioquímicas da enzima, que influenciam na estabilidade e eficiência do biocatalisador (TRAN & BALKUS, 2011; BRENA et al., 2013 SOUZA et al., 2017).

As lipases podem ser imobilizadas por diferentes métodos, no entanto devem ser levadas em consideração as características específicas da enzima para determinar qual melhor procedimento de imobilização (ANDRADE et al., 2016; CAO et al., 2016). Os métodos de imobilização podem ser classificados em dois grandes grupos: os métodos físicos e os métodos químicos. Nos métodos físicos não ocorre interações covalentes entre o suporte e a enzima, e pode ocorrer por adsorção ou encapsulação. Pelos métodos químicos são exploradas características dos aminoácidos que formam a enzima e o suporte, para que haja interações químicas entre eles. São exemplos deste método a imobilização por ligação covalente e o *crosslinking* (LIU et al., 2011).

O método mais utilizado de imobilização de lipases até o presente momento é a adsorção física, pois tem fatores como a simplicidade e o baixo custo associados à sua aplicação. Além disso provoca pouca alteração na estrutura conformacional da enzima e em seu sítio ativo, que por não envolver ligação química entre o suporte e a enzima, evita distorções do sítio ativo da proteína (PASSARI, 2022). Porém, a fixação covalente de uma enzima a um suporte é o método de imobilização mais interessante do ponto de vista industrial, dado o ganho de estabilidade frente a outros métodos, como o da adsorção física (PATEL et al., 2021).

Diferentes suportes podem ser utilizados para imobilização de enzimas (CANILHA et al., 2006; MENDES et al., 2011). O polihidroxibutirato (PHB) um polímero orgânico sintetizado por

bactérias a partir de pequenas moléculas como o ácido butírico, destaca-se por apresentar as características esperadas em suportes orgânicos (alta cristalinidade, biocompatibilidade e biodegradabilidade, boa resistência mecânica, capacidade de regeneração, além de ser atóxico e inerte) propícios à imobilização (MENDES et al., 2011).

Ademais, o PHB já é produzido em escala industrial, inclusive por uma empresa brasileira, a PHB Industrial S.A, sendo de fácil disponibilidade e de valor acessível. No entanto, existem poucos estudos avaliando o potencial uso do PHB como suporte para imobilização de enzimas, tornando-o uma alternativa promissora para imobilização de lipase bacteriana.

APLICAÇÃO NA INDÚSTRIA DE ALIMENTOS

A utilização de enzimas como catalisadoras das reações de síntese de ésteres se torna um atrativo para a indústria de alimentos, que a partir destas metodologias consegue reduzir custos e etapas do processo, além de ser uma síntese natural, com maior rendimento e menores chances de formação de produtos indesejáveis (YAMAGUCHI, 2017; SÁ et al., 2017; BAYOUT et al., 2020).

As lipases atuam na produção de ácidos graxos poliinsaturados e na síntese de ésteres e álcoois. Esses compostos gerados são empregados na produção de alimentos saudáveis e até mesmo na formulação de suplementos alimentares (SALIHU et al., 2016). Os ésteres aromáticos formados pelo uso de lipases são também conhecidos como bioaromas (BAYOUT et al., 2020). Nos processos de panificação e fabricação de bebidas, como vinho, são mais utilizadas para melhorar sabor e aroma. Em carnes são utilizadas para torná-las mais saudáveis, com processos de transesterificação, que auxiliam na formação de sabor e aroma, além de reduzir as taxas de gorduras (RAVEENDRAN et al., 2018; GUERRAND, 2017; PEREIRA et al., 2019).

Para utilização industrial, na síntese de ésteres aromáticos ou outros processos é recomendado o uso da lipase em condições de imobilização. A imobilização consegue superar algumas limitações que a enzima em seu estado livre teria, como: solubilidade, pureza, aumento da atividade, redução de possível inibição e aumento da estabilidade. Além de superar essas possíveis limitações, as lipases imobilizadas conseguem obter algumas vantagens nos processos industriais, como a reutilização, controle das reações, utilização em

diferentes configurações de reatores e menores perdas em fluxos contínuos (CAI et al., 2017; DE MENESES et al., 2019; DA SILVA CORRÊA et al., 2020).

Portanto, o estudo da produção de ésteres utilizando lipase bacteriana imobilizada pode gerar novas referências para a literatura além disso ampliar o campo de aplicações industriais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As lipases microbianas têm merecido atenção especial devido à sua versatilidade e potencial de aplicação em diversos seguimentos da indústria, como a hidrólise de gorduras e óleos vegetais e o tratamento de efluentes com altas cargas de gorduras. Na indústria de alimentos, as lipases podem ser utilizadas para a síntese de compostos de aromas e sabores, além de serem adicionadas às formulações dos produtos e estes podem receber o rótulo de produto natural. Nesse sentido, seu uso para a produção de bioaromas tem se mostrado promissor devido à crescente demanda por ingredientes naturais em produtos alimentícios.

Logo, a busca de novas linhagens bacterianas, bem como a utilização de resíduos agroindustriais como fonte de nutrientes para produção de lipase estimulam pesquisas para encontrar melhores condições de produção, imobilização, levando à maior viabilidade da aplicação da enzima no setor industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, Marcos F.C. et al. Lipase imobilizada em nanopartículas de magnetita revestidas com polidopamina para produção de biodiesel a partir de óleo de soja. **Biofuel Research Journal**, v. 3, n. 2, pág. 403, 2016.

BALDO, Cristiani et al. Utilization of agroindustrial byproducts for the production of lipase by a new strain of *Pseudomonas* sp. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 41, n. 2, p. 165-176, 2020.

BAYOUT, Ikram et al. Síntese de ésteres de sabor natural catalisada por lipases. **Diário de sabores e fragrâncias**, v. 35, n. 2, pág. 209-218, 2020.

BEHERA, Ashis R. et al. Otimização de parâmetros físicos para produção aumentada de lipase de *Staphylococcus hominis* usando metodologia de superfície de resposta. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição**, v. 26, p. 34277-34284, 2019.

BISHT, Deepali et al. Produção aumentada de lipase alcalina extracelular por uma cepa melhorada de *Pseudomonas aeruginosa* MTCC 10.055. **American Journal of Applied Sciences**, v. 9, n. 2, pág. 158, 2012.

BOSE, Anjali et al. Produção, caracterização e aplicações de lipase tolerante a solventes orgânicos por *Pseudomonas aeruginosa* AAU2. **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**, v. 2, n. 3, pág. 255-266, 2013.

BHARATHI, Devaraj et al. Lipases microbianas: uma visão geral da triagem, produção e purificação. **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**, v. 22, p. 101368, 2019.

BRENA, Beatriz et al. Imobilização de enzimas: um levantamento da literatura. **Imobilização de Enzimas e Células: Terceira Edição**, p. 15-31, 2013.

CAI, Xianghai et al. Síntese de ésteres de cinamil por transesterificação catalisada por lipase em um sistema não aquoso. **Catalysis Letters**, v. 147, pág. 946-952, 2017.

CAO, Shi-Lin et al. Preparação e caracterização de lipase imobilizada de *Pseudomonas cepacia* em nanocristais magnéticos de celulose. **Relatórios científicos**, v. 6, n. 1, pág. 1-12, 2016.

CANILHA, Larissa et al. Biocatalizadores imobilizados: uso de células e enzimas imobilizadas em processos biotecnológicos. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento, Brasília**, n. 36, pág. 48-57, 2006.

CARVALHO, Lucas S. de. **Redução da toxicidade de resíduo de pinhão-manso (*Jatropha curcas*) por fermentação em estado sólido**. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Rio de

Janeiro, 2022.

CARVALHO, Nayara B. et al. Uso de sílicas modificadas para imobilização de lipases. **Química Nova**, v. 38, p. 399-409, 2015.

CASTIGLIONI, Gabriel L. et al. Study of lipase production by *Burkholderia cepacia*. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 637-644, 2018.

COLLA, Luciane Maria et al. Metodologia de resposta de superfície para otimização da produção de lipase sob fermentação submersa por fungos filamentosos. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v. 47, p. 461-467, 2016.

CORRÊA, P. F. et al. Utilização de um delineamento composto central rotacional (DCCR) para a produção de biossurfactante por *Pseudomonas aeruginosa*. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p. 2847-2854, 2015.

CHOUDHARY, Prassan et al. Otimização sequencial multi-substrato, caracterização e imobilização da lipase produzida por *Pseudomonas plecoglossicida* S7. **Ciência Ambiental e Pesquisa sobre Poluição**, v. 30, n. 2, pág. 4555-4569, 2023.

DA SILVA CORRÊA, Layane et al. Esterificação catalisada por lipase de geraniol e citronelol para a síntese de ésteres terpênicos. **Bioquímica aplicada e biotecnologia**, v. 190, p. 574-583, 2020.

DA SILVA FRANÇA, Eduardo et al. Detecção de esterase e lipase produzidas por fungos filamentosos isolados de solos da Caatinga. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 91693-91709, 2020.

DABAJA, Mohamed Ziad et al. Síntese de biodiesel a partir do óleo de açaí empregando lipase comercial imobilizada em suporte de baixo custo. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 2, 2018.

DE MENESES, Alessandra C. et al. Esterificação de butirato de benzila mediada por lipases imobilizadas: Avaliação de reatores batch e fed-batch para superar a desativação ácido-lipase. **Process Biochemistry**, v. 78, p. 50-57, 2019.

DE MORAIS JUNIOR, Wilson G. et al. Otimização da produção e caracterização da lipase de *Candida rugosa* e *Geotrichum candidum* em melaço de soja por fermentação submersa. **Expressão e Purificação de Proteínas**, v. 123, p. 26-34, 2016.

DE OLIVEIRA, Rodrigo Lira et al. Immobilization of pectinase from *Aspergillus aculeatus* in alginate beads and clarification of apple and umbu juices in a packed bed reactor. **Food and bioproducts processing**, v. 109, p. 9-18, 2018.

FARINAS, Cristiane S. Desenvolvimentos em fermentação em estado sólido para produção de enzimas degradadoras de biomassa para o setor de bioenergia. **Revisões sobre Energia Renovável e Sustentável**, v. 52, p. 179-188, 2015.

FATIMA, H. et al. Production and partial characterization of lipase from *Pseudomonas putida*. **Fermentation Technology**, v. 4, p. 1-7, 2014.

FRANCOLINI, Iolanda et al. Desempenho aprimorado da lipase *Candida rugosa* imobilizada em nanocompósitos magnéticos modificados com cadeia alquila. **Tecnologia enzimática e microbiana**, v. 132, p. 109439, 2020.

GALEANO LÓPEZ, Mariella B. **Efeitos do potencial aplicado na formação de biofilme eletroativo primário produzido por *Shewanella amazonensis* em célula à combustível microbiana alimentada com efluente de biodiesel**. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2021.

GUEDES, Eduardo H. S. et al. Resíduos agroindustriais como substrato para a produção de lipases microbiana: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. e30710212537-e30710212537, 2021.

GUERRAND, David. Aplicações industriais de lipases: foco em alimentos e agroindústrias. **OCL Oleaginosas e gorduras culturas e lipídios**, v. 24, n. 4, pág. D403, 2017.

KIRAN, S. et al. Lipases microbianas: produção e aplicações: uma re-

visão. **J Biochem Biotechnol Biomater**, v. 1, n. 2, pág. 7-20, 2016.

LIU, Xiangyang; KOKARE, Chandrakant. Enzimas microbianas de uso na indústria. In: **Biotecnologia de enzimas microbianas**. Imprensa Acadêmica, p. 405-444, 2023.

LIU, Yin et al. Co-fermentação glicerol/glicose: mais um processo proficiente para produzir ácido propiônico por *Propionibacterium acidipropionici*. **Microbiologia atual**, v. 62, p. 152-158, 2011.

LUZ, BÁRBARA D. et al. Lipase production by microorganisms isolated from the Serra de Ouro Branco State Park. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.

MARKERTS RESEARCH REPORT. Food Enzymes Market, 2023. Disponível em: < <https://www.researchandmarkets.com/reports/4894548/global-food-enzymes-market-2023-2027> > acesso em: 14 de fevereiro de 2023.

MENDES, Adriano A. et al. Aplicação de quitosana como suporte para a imobilização de enzimas de interesse industrial. **Química Nova**, v. 34, p. 831-840, 2011.

MESSIAS, Josana M. et al. Lipases microbianas: Produção, propriedades e aplicações biotecnológicas. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, p. 213-234, 2011.

MEHTA, Akshita et al. As lipases e suas aplicações com ênfase na indústria alimentícia. In: **Biotecnologia microbiana em alimentos e saúde**. Imprensa Acadêmica, p. 143-164, 2021.

MDIC, Planejamento Estratégico MDIC 2019/2020, 2022. Disponível em : <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br>> acesso em: 14 de fevereiro de 2023.

OHARA, André et al. Produção de invertase por *Aspergillus niger* sob fermentação em estado sólido: Enfoque em parâmetros físico-químicos, efeitos sinérgicos e antagônicos usando resíduos agroindustriais. **Biocatálise e Biotecnologia Agrícola**, v. 4, n. 4, pág. 645-652, 2015.

OLIVEIRA, Anne C. D. et al. Produção e caracterização de uma lipase extracelular de *Candida guilliermondii*. **Revista Brasileira de Microbiologia**, v. 45, p. 1503-1511, 2014.

OLIVEIRA, Nayra M. L. de. **Produção de lipase de *Candida Viswanathii* em biorreator de bancada e imobilização da enzima em nanopartículas magnéticas de quitosana para a produção de ésteres**. 138f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas, 2020.

OLIVEIRA, R. L. et al. Immobilization of pectinase from *Aspergillus aculeatus* in alginate beads and clarification of apple and umbu juices in a packed bed reactor. **Food and bioproducts processing**, v. 109, p. 9-18, 2018.

OLIVEIRA, Tássia de S. **Seleção de leveduras de frutos do cerrado tocantinense para produção de hidrolases e otimização de suas condições de cultivo**. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas, 2015.

PASSARI, Fernanda A. **Produção de um antioxidante lipofílico por esterificação catalisada por lipase imobilizada via adsorção física em suporte hidrofóbico**. 60f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal de Alfenas, Alfenas, MG, 2022.

PATEL, Gayatriben B. et al. Estudos de parâmetros de processo por design composto central da metodologia de superfície de resposta para atividade de lipase de *Actinomyces* recém-obtido. **Tecnologia Ambiental e Inovação**, v. 23, p. 101724, 2021.

PEREIRA, Adejanildo da S. et al. Mango agro-industrial wastes for lipase production from *Yarrowia lipolytica* and the potential of the fermented solid as a biocatalyst. **Food and Bioproducts Processing**, v. 115, p. 68-77, 2019.

PINTO, Bruna A. **Monitoramento tecnológico de patentes envolvendo enzimas geneticamente modificadas (IPC: C12N15/52a C12N15/61 INPI entre 2008 e 2018) depositadas no INPI entre 2008 e 2018**. 139f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia de Bioprocessos.) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química,

Rio de Janeiro, 2021.

RAVEENDRAN, Sindhu et al. Applications of microbial enzymes in food industry. **Food technology and biotechnology**, v. 56, n. 1, p. 16, 2018.

RESEARCH AND MARKETS. Food Enzymes Market., 2023-2027. Disponível em: < <https://www.researchandmarkets.com/reports/4894548/global-food-enzymes-market-2023-2027> > acesso em: 14 de fevereiro de 2023.

REZENDE, Juliana A. **Aplicação do resíduo agroindustrial pergaminho do café como substrato na fermentação submersa para a produção de proteases por *Bacillus sp.* SMIA-2**. 93f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, CAMPOS DOS GOYTACAZES, 2022.

RIGO, Diane et al. Produção microbiológica de enzimas: Uma revisão. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 9232-9254, 2021

RIZZO, Roberta F. **Avaliação da produção de biomassa de *Arthrospira platensis* rica em ergotioneína e sua aplicação em massa alimentícia**. 129 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas a Produtos para a Saúde, Faculdade de Farmácia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2020.

SÁ, Amanda G. A. et al. A review on enzymatic synthesis of aromatic esters used as flavor ingredients for food, cosmetics and pharmaceuticals industries. **Trends in Food Science & Technology**, v. 69, p. 95-105, 2017.

SAHOO, Rajesh K. et al. Otimização estatística para produção de lipase a partir de resíduos sólidos da indústria de óleos vegetais. **Bioquímica e Biotecnologia Preparativa**, v. 48, n. 4, pág. 321-326, 2018.

SALIHU, Aliyu et al. Lipase production by *Aspergillus niger* using sheanut cake: An optimization study. **Journal of Taibah University for Science**, v. 10, n. 6, p. 850-859, 2016.

SILVEIRA, Erick A. et al. Valorization of palm oil industrial waste as

feedstock for lipase production. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 179, p. 558-571, 2016.

SOUZA, Lívia T. et al. Imobilização enzimática: princípios fundamentais e tipos de suporte. **Biotecnologia aplicada à Agro&Indústria: Fundamentos e Aplicações**, São Paulo: v. 4, p. 529-556, 2017.

SOCCOL, Carlos R. et al. Recent developments and innovations in solid state fermentation. **Biotechnology Research and Innovation**, v. 1, n. 1, p. 52-71, 2017.

SUTAR, Vinayak P. et al. Purificação de lipase de *Pseudomonas aeruginosa* VSJK R-9 e sua aplicação em combinação com o consórcio lipolítico para biorremediação de águas residuais de restaurantes. **Bioquímica e Biotecnologia Aplicada**, v. 195, n. 3, pág. 1888-1903, 2023.

SHUKLA, Pratyosh et al. Process parameters optimization for lipase production by *Rhizopus oryzae* KG-10 under submerged fermentation using response surface methodology. **Journal of Applied Sciences in Environmental. Sanitation**, v. 2, n. 3, p. 93-103, 2007.

TEIXEIRA, Iris S.; MILAGRE, Cintia D.F. Evolução dirigida de enzimas: pequenas modificações, melhores biocatalisadores. **Química Nova**, v. 43, p. 773-786, 2020.

TEIXEIRA, Mayra F. N. **Produção de lipase por *Candida viswanathii*: otimização das condições de cultivo, purificação em sistema aquoso bifásico e propriedades bioquímicas**. 83f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Gurupi, 2017.

THAKUR, Sumita. Lipases, its sources, properties and applications: a review. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, v. 3, n. 7, pág. 1-29, 2012.

TRAN, Daniel N.; BALKUS JR, Kenneth J. Perspectiva do progresso recente na imobilização de enzimas. **Acs Catalysis**, v. 1, n. 8, pág. 956-968, 2011.

TREICHEL, Helen et al. Uma revisão sobre a produção de lipases microbianas. **Tecnologia de alimentos e bioprocessos**, v. 3, p. 182-196,

2010.

UDAY, Uma S. P. et al. Classification, mode of action and production strategy of xylanase and its application for biofuel production from water hyacinth. **International journal of biological macromolecules**, v. 82, p. 1041-1054, 2016.

VASCONCELOS, Jéssyca C. B. **Produção de lipase por *Pseudomonas aeruginosa* a partir de resíduos agroindustriais e sua aplicação na síntese de ésteres aromáticos**. 99f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Palmas, 2023.

VELJKOVIĆ, Vlada B. et al. The wastewater treatment in the biodiesel production with alkali-catalyzed transesterification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 40-60, 2014.

WADIA, Toshi; JAIN, Sudhir K. Isolation, screening and identification of lipase producing fungi from oil contaminated soil of Shani Mandir Ujjain. **International journal of current microbiology and applied sciences**, v. 6, n. 7, p. 1872-1878, 2017.

YAMAGUCHI, Shotaro. The quest for industrial enzymes from micro-organisms. **Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry**, v. 81, n. 1, p. 54-58, 2017.

ZOUAOUI, Benattouche et al. Produção, otimização e caracterização da lipase de *Pseudomonas aeruginosa*. **Cartas biotecnológicas romenas**, v. 17, n. 2, pág. 7187-7193, 2012.

CAPÍTULO V - LEVEDURAS ISOLADAS DE FRUTOS AMAZÔNICOS COMO OPÇÃO DE CONTROLE BIOLÓGICO CONTRA A ANTRACNOSE PÓS-COLHEITA EM MANGIFERA INDICA L. CAUSADA PELO FITOPATÓGENO COLLETOTRICHUM GLOEOSPORIOIDE: UMA REVISÃO

Catiele Silva de Oliveira*; Amanda Cristine de Jesus Carreteiro; Eduardo Araújo da Silva; Guilherme da Silva Oliveira; Eskálath Morganna Silva Ferreira; Juliana Fonseca Moreira da Silva; Raphael Sanzio Pimenta

**Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: biorapha@yahoo.com.br*

As leveduras são microrganismos unicelulares, tolerantes a variações ambientais, amplamente distribuídas em diversos habitats, incluindo frutos e plantas. É uma das opções para o controle biológico é o uso dessas leveduras (LAHLALI et al., 2022). A aplicação de leveduras em pós-colheita tem sido estudada como uma prática de conservação que oferece a possibilidade de aumentar a qualidade dos frutos, reduzir o uso de produtos químicos e prolongar sua vida útil (QADRI, R. et al., 2020).

Os frutos amazônicos são uma fonte importante de leveduras para possíveis aplicações no controle biológico (VEGAS et al., 2020). Estudos mostram que a diversidade de leveduras presente nesses frutos é elevada, e que muitas dessas leveduras apresentam propriedades antagonicas contra diferentes patógenos, incluindo o *C. gloeosporioide* (PETERS et al., 2020).

Um dos principais mecanismos envolvidos na ação antagonica das leveduras é a produção de compostos antimicrobianos, como ácidos orgânicos, peróxido de hidrogênio, etanol, entre outros (YAO et al., 2022). Além disso, as leveduras também podem estimular a resistência do hospedeiro, produzir enzimas que degradam a parede celular do patógeno ou competir por nutrientes no ambiente (ZHANG et al., 2020).

Os estudos sobre a aplicação de leveduras amazônicas no controle da antracnose em mangueira têm mostrado resultados promissores. Em alguns casos, a aplicação de leveduras específicas reduziu a severidade da doença em até 50% (ASSUMPÇÃO;

NUNES,2022). Além disso, foram observados aumentos significativos na atividade de enzimas antioxidantes e anti-inflamatórias, bem como na produção de compostos bioativos, indicando que as leveduras podem melhorar a qualidade nutricional dos frutos (SILVA *et al.*, 2022). Portanto, nota-se que as leveduras isoladas de frutos amazônicos apresentam um grande potencial como opção de controle biológico contra a antracnose pós-colheita em mangueira causada pelo fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides* (CARNEIRO *et al.*, 2020).

Assim, este estudo tem como objetivo revisar o uso de leveduras isoladas de frutos amazônicos como uma opção efetiva de controle biológico contra a antracnose em manga. A revisão apresenta os avanços recentes na pesquisa sobre leveduras isoladas de frutos amazônicos e seu potencial como agente de biocontrole contra a doença, além de destacar novas perspectivas para o desenvolvimento de biofungicidas com base em leveduras.

A cultura da *Mangifera indica*

A *Mangifera indica*, popularmente conhecida como manga, é uma das frutas tropicais mais cultivadas e consumidas em todo o mundo (THAKOR, 2019). Originária da Índia, a espécie pertence à família *Anacardiaceae* e é caracterizada por sua polpa succulenta e aromática, rica em vitaminas, minerais e antioxidantes (ANAYA-ESPARZA; MONTALVO-GONZÁLEZ, 2019).

A polpa da manga apresenta uma grande variedade de compostos bioativos, incluindo carotenoides, flavonoides, taninos, ácidos orgânicos, açúcares e vitaminas (LEBAKA *et al.*, 2021). Estes compostos conferem à manga diversas propriedades nutricionais e funcionais, tais como ação antioxidante, anti-inflamatória, anti-diabética, anti-cancerígena, imunomoduladora, entre outras (GUPTA *et al.*, 2022).

Além disso, a manga é um importante recurso econômico para muitos países produtores, tanto para consumo interno quanto para exportação (WARDHAN; DAS; GULATI, 2022). No Brasil, a cultura da manga é amplamente disseminada, principalmente nos estados da Bahia, São Paulo, Minas Gerais, Pernambuco e Ceará (ANDRADE *et al.*, 2023). A produção de manga no país tem se expandido nos últimos anos, em virtude do aumento da demanda e da valorização dos mercados interno e externo (MEHDI *et al.*, 2021).

O uso terapêutico e medicinal da manga é relatado há séculos, em diversas partes do mundo (ALAIYA; ODENIYI, 2023). Diversos estudos têm avaliado os efeitos da manga sobre a saúde humana, incluindo sua ação no controle do diabetes, na prevenção do câncer, na proteção cardiovascular, na melhora da função gastrointestinal, entre outros (JIDEANI *et al.*, 2021).

Devido ao seu grande potencial terapêutico e nutricional, a manga tem sido objeto de inúmeras pesquisas científicas (MIRZA *et al.*, 2021). No entanto, apesar de seus benefícios, alguns compostos da fruta podem apresentar efeitos indesejáveis em determinadas condições, como a presença de alergênicos e a interferência com medicamentos em determinadas condições (DUDA-CHODAK; TARKO, 2023).

Portanto, é importante continuar a investigar a composição química e os efeitos biológicos da manga, a fim de se compreender melhor seus efeitos na saúde humana e sua utilização terapêutica adequada e segura (YAP *et al.*, 2021). O desenvolvimento de cultivares de manga com características nutricionais diferenciadas, o aprimoramento da pós-colheita e do manejo da cultura são questões importantes para garantir a produção de uma fruta cada vez mais saudável e nutritiva (GONZÁLEZ-ESTRADA *et al.*, 2019).

Microbiota da *Mangifera Indica*

A microbiota da *Mangifera indica* é composta por diversos micro-organismos, incluindo bactérias ácido-láticas, leveduras e patógenos (RUIZ RODRÍGUEZ *et al.*, 2019). Dentre esses, as bactérias ácido-láticas são os principais agentes responsáveis pela fermentação da manga, contribuindo para a formação do aroma, sabor e textura do produto (RODRÍGUEZ *et al.*, 2021). Além disso, essas bactérias possuem propriedades probióticas, que ajudam a manter o equilíbrio da flora intestinal e fortalecer o sistema imunológico (DHILLON *et al.*, 2021).

Apesar dos benefícios da microbiota da *Mangifera indica*, alguns patógenos também podem contaminar o fruto, como *Salmonella* e *Escherichia coli* (ERICKSON, 2020). Essa contaminação pode ocorrer durante o cultivo, colheita, armazenamento e transporte da fruta, sendo necessário um cuidado especial na seleção dos fornecedores e nos processos de produção (ONYEAKA; NWABOR, 2022).

Portanto, para garantir a segurança alimentar da *Mangifera indica*, é necessário realizar análises microbiológicas regulares, monitorar as condições de higiene ao longo da cadeia produtiva e seguir as boas práticas de fabricação ((FOKOUO et al., 2023). Além disso, estudos têm mostrado que a utilização de probióticos selecionados pode auxiliar no controle da microbiota da fruta e no aumento do potencial probiótico para o consumidor (MALIK; KRISHNASWAMY; MUSTAPHA, 2021).

Doenças fúngicas em *Mangifera indica* e perdas pós-colheita

As doenças fúngicas são causadas principalmente por fungos dos gêneros *Colletotrichum*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Botryodiplodia*, entre outros, que se instalam nas áreas danificadas da fruta, como cortes, rachaduras e lesões, e se proliferam rapidamente, causando podridão e perda de peso (SHARMA, 2020). As perdas pós-colheita causadas por esses fitopatógenos representam um grande problema para os produtores e comerciantes da *mangifera indica*, reduzindo significativamente a qualidade e o valor de mercado final da fruta (BALTAZARI et al., 2020).

Dentre as principais doenças fúngicas que afetam a manga, destacam-se a antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum gloeosporioides*, e a podridão peduncular, causada pelo fungo *Lasiodiplodia theobromae* (BAHADUR, 2019). A antracnose é responsável por danos substanciais nas frutas, afetando sua qualidade e reduzindo sua vida útil (KANKAM et al., 2022). Já a podridão peduncular afeta principalmente frutas maduras e pode se espalhar rapidamente em condições de alta umidade (HUSSAIN; USMAN, 2019).

O controle das doenças fúngicas em mangas pode ser feito por meio da utilização de medidas preventivas, como a adoção de boas práticas de colheita e armazenamento, a realização de podas e limpeza das plantas (BORDOH et al., 2020), além da utilização de produtos químicos específicos, que devem ser aplicados de forma adequada e seguindo as recomendações dos fabricantes (WORLD HEALTH ORGANIZATION et al., 2020). No entanto, o uso indiscriminado desses produtos pode trazer riscos para a saúde humana e para o meio ambiente, sendo necessária uma aplicação controlada e responsável (CHAUD et al., 2021).

Portanto, é importante que os produtores e comerciantes

de mangas adotem medidas preventivas e de controle de doenças fúngicas, com o objetivo de reduzir as perdas pós-colheita e garantir a qualidade e a segurança do produto final (NAIK; AMIN; SHERAZ MAHDI, 2022). Além disso, é fundamental a realização de pesquisas científicas sobre a prevalência e os tipos de fungos que afetam as mangas, bem como o desenvolvimento de novas estratégias de controle que sejam mais eficazes e sustentáveis (ISTÚRIZ-ZAPATA et al., 2022).

O fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides*

O fungo *Colletotrichum gloeosporioides* é um fitopatógeno que causa a antracnose em culturas de diversas espécies, incluindo culturas de grande importância econômica como manga, mamão, banana, feijão, milho, tomate, café, entre outras (SANTRA; BANERJEE, 2020). Esta doença é caracterizada por lesões necróticas em partes da planta como folhas, frutos e caules, resultando em perda de qualidade e quantidade de produção (ALGHUTHAYMI et al., 2021).

Este fungo pertence ao gênero *Colletotrichum* que é composto por mais de 190 espécies que são distribuídas amplamente por todo o mundo, afetando um grande número de culturas importantes (SILVA et al., 2020). A infecção começa com a penetração do fungo através de pequenos ferimentos ou estômatos das folhas, resultando em sintomas visíveis em alguns dias (ZIMOWSKA; KRÓL, 2021). O crescimento do fungo dentro do tecido da planta pode levar ao colapso total da parte infectada, principalmente quando ocorrem condições climáticas favoráveis para a infecção, tais como elevada umidade e temperatura (UR REHMAN et al., 2021).

O controle da antracnose é um desafio para os produtores, que muitas vezes recorrem ao uso de fungicidas químicos para lidar com a doença (KANKAM et al., 2022). No entanto, a resistência aos fungicidas tem sido relatada em diversas culturas, tornando o controle cada vez mais difícil (RAWAT; BISHT; NAITHANI, 2021). Assim, há um grande interesse em alternativas mais sustentáveis, incluindo o uso de leveduras antagonistas e a utilização de mecanismos de defesa fisiológicos e genéticos da planta (HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ et al., 2021).

Estudos recentes têm explorado a diversidade do fungo *Colletotrichum gloeosporioides* e a sua resposta à variação ambiental,

bem como a forma como a infecção por este fitopatógeno afeta a expressão genética e as respostas fisiológicas das plantas hospedeiras (OTERO-BLANCA *et al.*, 2021). Os avanços na pesquisa genômica estão permitindo uma melhor compreensão da interação entre o fungo e a planta, bem como o desenvolvimento de estratégias mais eficazes de controle da antracnose (PENG *et al.*, 2021).

Contudo, o fungo *Colletotrichum gloeosporioides* é uma importante doença das plantas que afeta uma grande variedade de culturas (DENTIKA *et al.*, 2023). O controle desta doença é um desafio significativo para os produtores, mas há um crescente interesse em alternativas mais sustentáveis que possam ajudar a minimizar o uso de produtos químicos e promover a saúde das culturas (PETERS *et al.*, 2020). A pesquisa atual está focada em entender melhor a biologia do fungo e desenvolver abordagens mais eficazes de controle no futuro (GAO *et al.*, 2021).

Controle biológico

O controle biológico é um método de controle de pragas que utiliza organismos vivos para reduzir ou eliminar pragas indesejáveis (STENBERG *et al.*, 2021). Esse método pode ser mais eficaz e sustentável em comparação com o uso de pesticidas químicos, que podem ter efeitos negativos para o meio ambiente e para a saúde humana (BAKER; GREEN; LOKER, 2021).

Existem dois tipos de controle biológico: o controle biológico natural e o controle biológico aplicado (SHAVANOV; SHIGAPOV; NIAZ, 2022). controle biológico natural é quando a população de pragas é mantida em níveis baixos por seus inimigos naturais, como predadores, parasitoides e patógenos. O controle biológico aplicado é quando organismos vivos são introduzidos no ambiente para controlar a população de pragas (STENBERG *et al.*, 2021).

O uso de controle biológico aplicado tem sido amplamente utilizado na agricultura e na silvicultura (POSTALI PARRA; COELHO, 2019). Por exemplo, o uso de bactérias como *Bacillus thuringiensis* para controlar a lagarta do cartucho nas culturas de milho e soja, ou a liberação de vespas parasitoides para controlar a população de mariposas em plantações de frutas (MARRONE, 2019).

Portanto, o controle biológico é considerado um método eficaz e sustentável para controlar pragas em ambientes agrícolas e

silviculturais (BOSE *et al.*, 2022). No entanto, a seleção dos organismos usados para o controle biológico e a manutenção de seu habitat são importantes para a eficácia há longo prazo do método (LEUNG *et al.*, 2020). Além disso, o controle biológico não deve ser visto como uma solução única para todas as situações, podendo ser combinado com outras estratégias de biocontrole para obtenção de melhores resultados (PRICE-CHRISTENSON; YANNARELL, 2023).

Controle biológico em *Mangifera indica* pós-colheita

O controle biológico pós-colheita em *Mangifera indica* surge como uma alternativa promissora e sustentável para proteger as mangas de danos causados por microrganismos (SUDHA; NARENDRAPPA; SIVAKUMAR, 2021).

O biocontrole pós-colheita consiste no uso de microrganismos benéficos para controlar as pragas e doenças que afetam frutas e vegetais após a colheita (SELLITTO *et al.*, 2021). Estes microrganismos são aplicados na superfície do produto e atuam de diferentes maneiras para prevenir ou reduzir a incidência de doenças (TAYE; SAIKIA; PANGING, 2023).

Diversos estudos têm demonstrado a eficácia do controle biológico pós-colheita em mangas (KONSUE; DETHOUP; LIMTONG, 2020). Entre os microrganismos utilizados destacam-se os fungos antagonistas, como *Trichoderma* spp. e *Clonostachys* spp., que produzem metabólitos com atividade antifúngica e atuam competitivamente com os patógenos por nutrientes e espaço na superfície das frutas (AGUIRRE-GÜITRÓN *et al.*, 2022). Outros microrganismos utilizados são as bactérias produtoras de ácido láctico, como *Lactobacillus plantarum* e *Lactobacillus brevis*, que inibem o crescimento de fungos e bactérias patogênicas por meio da produção de ácido láctico (REYES-PEREZ *et al.*, 2019).

Além disso, o uso de extratos vegetais e óleos essenciais tem sido estudado como uma alternativa ao controle químico de pragas e doenças em mangas. Estes produtos possuem atividades antifúngicas e antibacterianas e podem ser aplicados na superfície das frutas como uma forma de prevenção (SHAHBAZ *et al.*, 2022). Dentre os óleos essenciais mais estudados para o controle pós-colheita em mangas destacam-se o óleo de cravo-da-índia, de canela e de limão (CHOWDHURY *et al.*, 2022).

Contudo, o controle biológico pós-colheita em *Mangifera indica* apresenta várias vantagens em relação ao controle químico convencional (ARAÚJO et al., 2020). Além de ser uma alternativa mais sustentável e segura para o meio ambiente e para a saúde humana, este método contribui para a valorização do produto final mediante a obtenção de frutas de melhor qualidade e maior vida útil (AL-TAYYAR; YOUSSEF; AL-HINDI, 2020).

Controle biológico em *Mangifera indica* integrado a substâncias GRAS

A utilização de substâncias GRAS (Generally Recognized As Safe), ou seja, substâncias reconhecidas como seguras pelo FDA (Food and Drug Administration), podem ser uma alternativa eficaz e segura para o controle de pragas e doenças na *Mangifera indica*, sem comprometer a qualidade do fruto e o meio ambiente (TORRES et al., 2022).

Dentre as diversas opções de substâncias GRAS, o óleo de neem tem se destacado como um eficiente agente de controle biológico em diversas culturas (JAHAGIRDAR et al., 2021). O óleo de neem é extraído das sementes da árvore neem (*Azadirachta indica*), que é nativa da Índia e é conhecida por suas propriedades inseticidas, fungicidas e bactericidas (KUMAR et al., 2022).

Além do óleo de neem, outras substâncias GRAS podem ser utilizadas no controle biológico da *Mangifera indica*, como extratos de plantas, óleos essenciais e microorganismos (ARRUDA et al., 2022). Essas substâncias podem ser combinadas estrategicamente com os inimigos naturais para potencializar a eficácia do controle biológico (GARCÍA-RAMÍREZ et al., 2023).

Portanto, o controle biológico integrado a substâncias GRAS é uma estratégia que visa a produção sustentável de *Mangifera indica*, reduzindo a utilização de agrotóxicos e aumentando a segurança alimentar e a qualidade dos alimentos produzidos (GONÇALVES et al., 2021). É importante ressaltar que a escolha das substâncias GRAS deve ser baseada em estudos científicos e na regulamentação, para garantir a segurança do meio ambiente e dos consumidores (PIRES et al., 2022).

Leveduras amazônicas como opção de biocontrole

Considerando a importância econômica da doença antracnose, pesquisas têm sido desenvolvidas para encontrar alternativas seguras e eficientes para o controle do patógeno. Uma das possibilidades é a utilização de microorganismos endofíticos como agentes de biocontrole (COSTA *et al.*, 2021). As leveduras amazônicas têm sido estudadas como uma fonte promissora de biocontroladores, uma vez que apresentam uma riqueza de espécies e capacidade adaptativa a diferentes ambientes (MORAIS *et al.*, 2022).

Poucos estudos foram realizados para avaliar o potencial de leveduras amazônicas no controle da antracnose pós-colheita (VALE *et al.*, 2021). Em um dos estudos recentes, foram identificadas leveduras do gênero *Pseudozyma* isoladas de frutas da Amazônia que apresentaram atividade antagonista contra *C. gloeosporioides*. Os testes *in vitro* mostraram que essas leveduras foram capazes de inibir o crescimento do fungo e reduzir o número de lesões nas frutas (KUMARI *et al.*, 2021).

Outro estudo relata que algumas espécies de leveduras amazônicas já foram identificadas como tendo potencial para controle da antracnose. Um exemplo é a levedura *Candida apicola*, que foi avaliada em ensaios de laboratório e mostrou ser eficaz contra a antracnose em feijão (SOUZA *et al.*, 2019). Outra levedura, a *Sporidiobolus pararoseus*, também foi identificada como tendo propriedades antifúngicas contra o *Colletotrichum gloeosporioides* em abacate (BEZERRA; SILVA; MOTTA, 2019).

Outro estudo relatou a utilização de uma mistura de leveduras (*Wickerhamomyces anomalus*, *Candida sake* e *Candida tropicalis*) como biocontrolador da antracnose em abacaxis. Os resultados indicaram que a aplicação das leveduras reduziu significativamente a incidência e a severidade da doença, tanto durante o armazenamento quanto após a comercialização dos frutos (MATOS *et al.*, 2021).

Além do potencial biocontrolador, as leveduras amazônicas apresentam outras vantagens, como resistência a condições adversas de temperatura e umidade, possibilidade de aplicação em grande escala e segurança ambiental e de saúde humana (VEGAS *et al.*, 2020).

Portanto, a utilização de leveduras amazônicas como agentes de biocontrole da antracnose pós-colheita apresenta um enorme

potencial, dada a eficiência encontrada em estudos recentes (SAMARA, 2020). Novas pesquisas são necessárias para explorar a diversidade de espécies e avaliar a aplicabilidade das leveduras em diferentes cultivos e condições de armazenamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A antracnose é uma doença fúngica que afeta diversos frutos pós-colheita, incluindo a manga. O uso indiscriminado de produtos químicos para o controle da doença afeta a saúde humana e o meio ambiente. Portanto, o uso de agentes de controle biológico, como as leveduras isoladas de frutos amazônicos, se torna uma opção promissora. Além disso, as leveduras podem ser utilizadas em substituição aos fungicidas químicos, proporcionando um controle eficiente e seguro da doença. Portanto, as leveduras isoladas de frutos amazônicos apresentam um grande potencial em se tornarem uma alternativa viável para o controle biológico da antracnose em frutos de manga pós-colheita, mitigando os impactos ambientais e de saúde pública causados por fungicidas sintéticos. Entretanto, o tema é amplo e heterogêneo, com muitas possibilidades de investigações futuras, com isso, faz-se necessário mais pesquisas em campo e aprimoramento de tecnologias para seu posterior uso em larga escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIRRE-GÜITRÓN, L. et al. Formulation of the biological control yeast *Meyerozyma caribbica* by electrospraying process: effect on postharvest control of anthracnose in mango (*Mangifera indica* L.) and papaya (*Carica papaya* L.). **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 102, n. 2, p. 696-706, 2022.

AL-TAYYAR, N. A.; YOUSSEF, A. M.; AL-HINDI, R. R. Edible coatings and antimicrobial nanoemulsions for enhancing shelf life and reducing foodborne pathogens of fruits and vegetables: A review. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 26, p. e00215, 2020.

ALAIYA, M. A.; ODENIYI, M. A. Utilisation of *Mangifera indica* plant extracts and parts in antimicrobial formulations and as a pharmaceutical excipient: a review. **Future Journal of Pharmaceutical Sciences**, v. 9, n. 1, p. 29, 2023.

ALGHUTHAYMI, M. A. et al. Nanohybrid antifungals for control of plant diseases: Current status and future perspectives. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 1, p. 48, 2021.

ANAYA-ESPARZA, L. M.; MONTALVO-GONZÁLEZ, E. Nutritional Quality of Species. **Bioactive Molecules in Food**. Springer, Cham, p. 201-219, 2019.

ANDRADE, J. C. et al. Consumption of fruits and vegetables contaminated with pesticide residues in Brazil: A systematic review with health risk assessment. **Chemosphere**, p. 138244, 2023.

ARAÚJO, M. R. et al. Alternative methods for angular stain control in mangoes (*Mangifera indica* L.). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 17, p. e11101724118-e11101724118, 2021.

ARRUDA, T. R. et al. Natural bioactives in perspective: The future of active packaging based on essential oils and plant extracts themselves and those complexed by cyclodextrins. **Food Research International**, p. 111160, 2022.

ASSUMPÇÃO, R.; NUNES, R. S. C. Antracnose em frutos nativos da Amazônia e metodologias alternativas naturais de controle de fungos toxigênicos causadores da doença. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 99676-99688, 2020.

BAHADUR, A. Present status of post-harvest diseases of fruits and vegetables in india. **Commercial Crops Processing and Value Addition**, v. 5, n. 10, p. 89, 2019.

BAKER, B. P.; GREEN, T. A.; LOKER, A. J. Biological control and integrated pest management in organic and conventional systems. **Biological Control**, v. 140, p. 104095, 2020.

BALTAZARI, A. et al. Evaluation of post-harvest losses and shelf life of fresh mango (*Mangifera indica* L.) in Eastern zone of Tanzania. **In-**

ternational Journal of Fruit Science, v. 20, n. 4, p. 855-870, 2020.

BEZERRA, J. D. P.; SILVA, L. F.; MOTTA, C. M. S. The explosion of Brazilian endophytic fungal diversity: taxonomy and biotechnological potentials. **Advancing frontiers in mycology & mycotechnology: Basic and applied aspects of fungi**, p. 405-433, 2019.

BORDOH, P. K. et al. A review on the management of postharvest anthracnose in dragon fruits caused by *Colletotrichum* spp. **Crop protection**, v. 130, p. 105067, 2020.

BOSE, R. et al. Biological control of forest pathogens: success stories and challenges. **Trends of Applied Microbiology for Sustainable Economy**. Academic Press, p. 155-184, 2022.

CARNEIRO, A. P. G. et al. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e229973810, 2020.

CHAUD, M. et al. Nanopesticides in agriculture: Benefits and challenge in agricultural productivity, toxicological risks to human health and environment. **Toxics**, v. 9, n. 6, p. 131, 2021.

CHOWDHURY, N. N. et al. Natural plant products as effective alternatives to synthetic chemicals for postharvest fruit storage management. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-19, 2022.

DENTIKA, P. et al. Natural Flora Is Indiscriminately Hosting High Loads of Generalist Fungal Pathogen *Colletotrichum gloeosporioides* Complex over Forest Niches, Vegetation Strata and Elevation Gradient. **Journal of Fungi**, v. 9, n. 3, p. 296, 2023.

DHILLON, H. S. et al. Preparation of *Lactobacillus acidophilus* enriched probiotic mango juice. **Journal of Environmental Biology**, v. 42, p. 371-378, 2021.

DUDA-CHODAK, A.; TARKO, T. Possible Side Effects of Polyphenols and Their Interactions with Medicines. **Molecules**, v. 28, n. 6, p. 2536, 2023.

ERICKSON, M. C. Microbiological Associated Vegetables, with Nuts,

Fruits, Issues and Grains. **Food Microbiology: Fundamentals and Frontiers**, p. 179, 2020.

FOKOUO, K. E. et al. SWOT diagnosis of the production system of dried mango slices produced in the North of the Cte dlvoire. **African Journal of Food Science**, v. 17, n. 3, p. 59-66, 2023.

GAO, M. et al. Molecular and physiological characterization of Arabidopsis– *Colletotrichum gloeosporioides* pathosystem. **Plant Pathology**, v. 70, n. 5, p. 1168-1179, 2021.

GARCÍA-RAMÍREZ, E. et al. Plant Extracts Control In Vitro Growth of Disease-Causing Fungi in Chayote. **Plants**, v. 12, n. 9, p. 1800, 2023.

GONÇALVES, D. C et al. Recent advances and future perspective of essential oils in control *Colletotrichum* spp.: A sustainable alternative in postharvest treatment of fruits. **Food Research International**, v. 150, p. 110758, 2021.

GONÇALVES, D. C. et al. Recent advances and future perspective of essential oils in control *Colletotrichum* spp.: A sustainable alternative in postharvest treatment of fruits. **Food Research International**, v. 150, p. 110758, 2021.

GONZÁLEZ-ESTRADA, R. et al. Alternative eco-friendly methods in the control of post-harvest decay of tropical and subtropical fruits. **Modern fruit industry**. IntechOpen, 2019.

GUPTA, A. K. et al. A review on valorization of different byproducts of mango (*Mangifera indica* L.) for functional food and human health. **Food Bioscience**, v. 48, p. 101783, 2022.

HERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, M. et al. Culturable yeasts as biofertilizers and biopesticides for a sustainable agriculture: A comprehensive review. **Plants**, v. 10, n. 5, p. 822, 2021.

HUSSAIN, F.; USMAN, F. Fungal biotic stresses in plants and its control strategy. **Abiotic and biotic stress in plants**, 2019.

ISTÚRIZ-ZAPATA, M. A. et al. Efficacy of extracts of mango residues loaded in chitosan nanoparticles and their nanocoatings on in vitro

and in vivo postharvest fungal. **Journal of Phytopathology**, v. 170, n. 10, p. 661-674, 2022.

JAHAGIRDAR, S. et al. Microbial consortia for plant disease management and sustainable productivity. **Emerging Trends in Plant Pathology**, p. 367-384, 2021.

JIDEANI, A. I. et al. Antioxidant-rich natural fruit and vegetable products and human health. **International Journal of Food Properties**, v. 24, n. 1, p. 41-67, 2021.

KANKAM, F. et al. Anthracnose Disease of Mango: Epidemiology, Impact and Management Options. **Current and Emerging Challenges in the Diseases of Trees**. IntechOpen, 2022.

KONSUE, W.; DETHOUP, T.; LIMTONG, S. Biological control of fruit rot and anthracnose of postharvest mango by antagonistic yeasts from economic crops leaves. **Microorganisms**, v. 8, n. 3, p. 317, 2020.

KUMAR, S. et al. Neem oil and its nanoemulsion in sustainable food preservation and packaging: Current status and future prospects. **Journal of Agriculture and Food Research**, v. 7, p. 100254, 2022.

KUMARI, A. et al. Production of Sophorolipid biosurfactant by insect derived novel yeast *Metschnikowia churdharensis* fa, sp. nov., and its antifungal activity against plant and human pathogens. **Frontiers in microbiology**, v. 12, p. 678668, 2021.

LAHLALI, R. et al. Biological control of plant pathogens: A global perspective. **Microorganisms**, v. 10, n. 3, p. 596, 2022.

LEBAKA, V. R. et al. Nutritional composition and bioactive compounds in three different parts of mango fruit. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 2, p. 741, 2021.

LEUNG, K. et al. Next-generation biological control: the need for integrating genetics and genomics. **Biological Reviews**, v. 95, n. 6, p. 1838-1854, 2020.

MALIK, S.; KRISHNASWAMY, K.; MUSTAPHA, A. Hazard analysis and risk-based preventive controls (HARPC): current food safety and

quality standards for complementary foods. **Foods**, v. 10, n. 9, p. 2199, 2021.

MARRONE, P. G. Pesticidal natural products—status and future potential. **Pest Management Science**, v. 75, n. 9, p. 2325-2340, 2019.

MATOS, Í. T. S. R. et al. Yeasts with Fermentative Potential Associated with Fruits of Camu-Camu (*Myrciaria dubia*, Kunth) from North of Brazilian Amazon. **The Scientific World Journal**, v. 2021, 2021.

MEHDI, M. et al. 4. Economic and social upgrading in global agro-food VCs: Mango in Brazil and Pakistan. **The Phantom of Upgrading in Agricultural Supply Chains**. Rainer Hampp Verlag, p. 174-226, 2021.

MIRZA, B. et al. Mango (*Mangifera indica* L.): a magnificent plant with cancer preventive and anticancer therapeutic potential. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 13, p. 2125-2151, 2021.

MORAIS, E. M. et al. Endophytic Trichoderma strains isolated from forest species of the Cerrado-Caatinga ecotone are potential bio-control agents against crop pathogenic fungi. **PLoS One**, v. 17, n. 4, p. e0265824, 2022.

NAIK, H. R.; AMIN, T.; SHERAZ MAHDI, S. Post-harvest Management and Value Addition of Food Crops. **Secondary Agriculture: Sustainability and Livelihood in India**. Cham: Springer International Publishing, p. 131-146, 2022.

ONYEAKA, H. N.; NWABOR, O. F. **Food Preservation and Safety of Natural Products**. Academic Press, 2022.

OTERO-BLANCA, A. et al. Physcomitrium patens infection by *Colletotrichum gloeosporioides*: Understanding the fungal-bryophyte interaction by microscopy, phenomics and RNA Sequencing. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 8, p. 677, 2021.

PENG, Y. et al. Research progress on phytopathogenic fungi and their role as biocontrol agents. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 670135, 2021.

PETERS, L. P. et al. Selection of endophytes as antagonists of *Colle-*

totrichum gloeosporioides in açai palm. **Biological Control**, v. 150, p. 104350, 2020.

PETERS, Leila P. et al. Selection of endophytes as antagonists of *Colletotrichum gloeosporioides* in açai palm. **Biological Control**, v. 150, p. 104350, 2020.

PIRES, J. R. A. et al. Methodologies to assess the biodegradability of bio-based polymers—current knowledge and existing gaps. **Polymers**, v. 14, n. 7, p. 1359, 2022.

POSTALI PARRA, J. R.; COELHO, A. Applied biological control in Brazil: from laboratory assays to field application. **Journal of Insect Science**, v. 19, n. 2, p. 5, 2019.

PRICE-CHRISTENSON, G.; YANNARELL, A. Use of Ecological Theory to Understand the Efficacy and Mechanisms of Multistrain Biological Control. **Phytopathology®**, p. PHYTO-04-22-0115-RVW, 2023.

QADRI, R. et al. Conventional and modern technologies for the management of post-harvest diseases. **Plant Disease Management Strategies for Sustainable Agriculture through Traditional and Modern Approaches**, p. 137-172, 2020.

RAWAT, L.; BISHT, T. S.; NAITHANI, D. C. Plant disease management in organic farming system: strategies and challenges. **Emerging trends in plant pathology**, p. 611-642, 2021.

REYES-PEREZ, J. J. et al. Postharvest biocontrol of *Colletotrichum gloeosporioides* on mango using the marine bacterium *Stenotrophomonas rhizophila* and its possible mechanisms of action. **Journal of food science and technology**, v. 56, p. 4992-4999, 2019.

RODRÍGUEZ, L. G. R. et al. Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. Benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages. **Food Research International**, v. 140, p. 109854, 2021.

RUIZ RODRÍGUEZ, L. G. et al. Diversity and functional properties of lactic acid bacteria isolated from wild fruits and flowers present in Northern Argentina. **Frontiers in microbiology**, v. 10, p. 1091, 2019.

SAMARA, N. Managing Postharvest Diseases: Classical versus New Technologies. In: **Bio-Management of Postharvest Diseases and Myco-toxigenic Fungi**. CRC Press, p. 7-56., 2020.

SANTRA, H. K.; BANERJEE, D. Natural products as fungicide and their role in crop protection. **Natural bioactive products in sustainable agriculture**, p. 131-219, 2020.

SELLITTO, V. M. *et al.* Microbial biocontrol as an alternative to synthetic fungicides: Boundaries between pre-and postharvest applications on vegetables and fruits. **Fermentation**, v. 7, n. 2, p. 60, 2021.

SHAHBAZ, M. U. *et al.* Natural plant extracts: an update about novel spraying as an alternative of chemical pesticides to extend the post-harvest shelf life of fruits and vegetables. **Molecules**, v. 27, n. 16, p. 5152, 2022.

SHARMA, N. Managing postharvest diseases: classical versus new technologies. **Bio-Management of Postharvest Diseases and Myco-toxigenic Fungi**. CRC Press, p. 7-56, 2020.

SHAVANOV, M. V.; SHIGAPOV, I. I.; NIAZ, A. Biological methods for pests and diseases control in agricultural plants. In: AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, p. 030081, 2022.

SILVA, A. J. M. *et al.* Recursos naturais amazônicos como fontes potenciais de probióticos: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e48611427496-e48611427496, 2022.

SILVA, L. L. *et al.* *Colletotrichum*: species complexes, lifestyle, and peculiarities of some sources of genetic variability. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 104, p. 1891-1904, 2020.

SOUZA, C. V *et al.* Biotechnological applications of nonconventional yeasts. **Yeasts in Biotechnology**, v. 46, p. 107674, 2019.

STENBERG, J. A. *et al.* When is it biological control? A framework of definitions, mechanisms, and classifications. **Journal of Pest Science**, v. 94, n. 3, p. 665-676, 2021.

SUDHA, S.; NARENDRAPPA, T.; SIVAKUMAR, G. Management of

post-harvest anthracnose disease in mango using promising biocontrol agents. **J Pharm. Innov**, v. 10, n. 3, p. 210-214, 2021.

TAYE, T.; SAIKIA, B.; PANGING, K. Biocontrol agents against post harvest decay in fruits and vegetables: a review. **International Journal of Plant & Soil Science**, v. 35, n. 10, p. 145-156, 2023.

THAKOR, N. J. Indian mango—production and export scenario. **Peach**, v. 18, n. 107, p. 0-12, 2019.

TORRES, A. B. et al. Ultraviolet radiation and generally recognized as safe (GRAS) preservatives for inactivation of *Aspergillus niger* in vitro and corn dough. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 25, 2022.

UR REHMAN, F. et al. Seed-borne fungal diseases of Maize (*Zea mays* L.): A review. **Agrinula: Jurnal Agroteknologi dan Perkebunan**, v. 4, n. 1, p. 43-60, 2021.

VALE, H. M. M. et al. Yeasts in native fruits from Brazilian neotropical savannah: occurrence, diversity and enzymatic potential. **Biota Neotropica**, v. 21, 2021.

VEGAS, C. et al. Yeasts Associated with Various Amazonian Native Fruits. **Polish journal of microbiology**, v. 69, n. 3, p. 251-261, 2020.

VEGAS, C. et al. Yeasts Associated with Various Amazonian Native Fruits. **Polish journal of microbiology**, v. 69, n. 3, p. 251-261, 2020.

WARDHAN, H.; DAS, S.; GULATI, A. Banana and mango value chains. **Agricultural Value Chains in India: Ensuring Competitiveness, Inclusiveness, Sustainability, Scalability, and Improved Finance**, p. 99-143, 2022.

WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. **Norms, standards and processes underpinning development of WHO recommendations on vector control**. 2020.

YAO, S. et al. Multispecies biofilms in fermentation: Biofilm formation, microbial interactions, and communication. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 4, p. 3346-3375, 2022.

YAP, K. M. *et al.* *Mangifera indica* (Mango): A promising medicinal plant for breast cancer therapy and understanding its potential mechanisms of action. **Breast Cancer: Targets and Therapy**, p. 471-503, 2021.

ZHANG, X. *et al.* Antagonistic yeasts: A promising alternative to chemical fungicides for controlling postharvest decay of fruit. **Journal of fungi**, v. 6, n. 3, p. 158, 2020.

ZIMOWSKA, B.; KRÓL, E. D. The infection process of *Colletotrichum fuscum* on oregano leaves and stems. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 20, n. 5, p. 97-106, 2021.

CAPÍTULO VI - UTILIZAÇÃO DE LEVEDURAS PROBIÓTICAS ISOLADAS DE FRUTOS AMAZÔNICOS NA APLICAÇÃO EM ALIMENTOS

Thaís Costa Santos*; Lucas Rocha Bezerra; João Guilherme da Silva Araújo; Artur Gabina Baltazar Vieira; Eskálath Morganna Silva Ferreira; Juliana Fonseca Moreira da Silva

** Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: thais.costal@mail.uft.edu.br*

A utilização de leveduras probióticas tem sido considerada uma estratégia promissora na indústria de alimentos, visando, principalmente, promover benefícios à saúde dos consumidores (SILVA et al., 2018). Nesse contexto, os frutos amazônicos têm despertado grande interesse devido às suas propriedades nutricionais e potencial terapêutico. Esses frutos são reconhecidos por serem ricos em compostos bioativos, antioxidantes, fibras e vitaminas, que podem contribuir para a promoção da saúde humana (CARVALHO et al., 2013; COSTA et al., 2016; ALBUQUERQUE et al., 2021).

Probióticos, por sua vez, são microrganismos vivos capazes de conferir benefícios à saúde quando consumidos em quantidades adequadas (FAO/WHO, 2002). Dentre os microrganismos reconhecidos como probióticos, pode-se destacar as leveduras, as quais podem exercer efeitos positivos sobre o sistema imunológico, melhora na digestão, auxiliar na absorção de nutrientes e em alguns casos prevenir doenças gastrointestinais (JARDIM; COSTA, 2022; GIORDANO et al., 2019; DAHYIA; NIGAM, 2023). Tais características tornam as leveduras probióticas promissoras para a adição em alimentos, visando a obtenção de produtos funcionais.

A região amazônica abriga uma imensa diversidade de frutos com propriedades nutricionais e funcionais singulares (FRANCA, 2022). A utilização de leveduras probióticas isoladas desses frutos pode representar uma abordagem revolucionária e sustentável para elaboração de alimentos funcionais inovadores (DA SILVA et al., 2022; CONTRERAS-RODRÍGUEZ et al., 2020). Além disso, a utilização de leveduras probióticas autóctones da região amazônica pode

contribuir para a valorização e preservação da biodiversidade local, promovendo, por exemplo, o desenvolvimento socioeconômico da região.

No entanto, é importante ressaltar que para aplicação de tais microrganismos em alimentos de forma eficaz, se faz necessário pesquisas aprofundadas sobre a segurança, estabilidade e viabilidade durante o processamento e armazenamento dos produtos (CASSANI et al., 2020; SEHRAWAT et al., 2022). Além disso, é necessário avaliar a eficácia das leveduras probióticas em promover benefícios à saúde humana e determinar a dose adequada para consumo (AZHAR; MUNAIM, 2019).

Neste contexto, a presente revisão de literatura tem como objetivo apresentar um levantamento bibliográfico sobre a utilização de leveduras isoladas de frutos amazônicos na aplicação em alimentos.

Leveduras como probiótico

As leveduras, são categorizadas como microrganismos unicelulares pertencentes ao reino Fungi (MUKHERJEE et al., 2020), colonizam uma variedade de habitats, incluindo vegetais, solos, água e animais (MORAIS; SOUSA; ROSA 2020). No passado, as bactérias eram amplamente reconhecidas como o grupo predominante de microrganismos empregados como probióticos, no entanto, pesquisas científicas recentes têm revelado que as leveduras também possuem um potencial significativo como probióticos (TERHAAG et al., 2020). Tais leveduras podem apresentar efeitos benéficos para a saúde humana, especialmente nos aspectos do trato gastrointestinal, sistema imunológico e outros aspectos fisiológicos (KUNYEIT; RAO; APPAIAH, 2023). Entre as leveduras probióticas frequentemente encontradas, destaca-se *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, a qual atualmente é considerada comercialmente a única levedura probiótica para utilização na indústria farmacêutica e alimentícia (TIAGO et al., 2018).

Os probióticos são microrganismos viáveis que, quando administrados em quantidades adequadas, conferem vantagem à saúde do hospedeiro (FAO/WHO, 2002). Estudos mostram que a *Saccharomyces cerevisiae* var. *boulardii*, pode contribuir para a preservação da homeostase microbiana intestinal, melhorar os processos gastrointestinais e a assimilação de nutrientes, fortalecer

o sistema imunológico, atenuar a inflamação, fornecer defesa contra infecções e reações alérgicas (TERCIOLO et al., 2022; CONSTANTE et al., 2021; KAŻMIERCZAK-SIEDLECKA et al., 2020). Segundo Nari et al. (2020) e Li et al. (2023), a administração desta linhagem mostrou resultados promissores na restauração do equilíbrio microbiota intestinal, melhorando a função da barreira intestinal e atenuando sua permeabilidade e a translocação bacteriana.

As leveduras probióticas demonstram a capacidade de sobrevivência no ambiente do trato gastrointestinal e exibem aderência às células epiteliais intestinais (ZOLDAN, 2022). Essa adesão permite a interação com as células hospedeiras, resultando na modulação da resposta imunológica. Adicionalmente, essas leveduras têm a capacidade de biossintetizar metabólitos benéficos, como as vitaminas do complexo B, ácidos graxos de cadeia curta e compostos antioxidantes (DUFOSSE; FOUILAUD; CARO, 2021; AYYASH et al., 2021).

Diversas espécies de leveduras foram submetidas a análises, entre as quais *S. boulardii*, *Pichia kudriavzevii*, *Pichia membranifaciens*, *Lachancea thermotolerans*, *Hanseniaspora osmophila*, *Candida vini*, *Rhodotorula mucilaginosa*, *Meyerozyma caribbica*, *Diutina rugosa*, *Meyerozyma caribbica* (FERNÁNDEZ-PACHECO et al., 2021; AMORIM et al., 2018; MERCHÁN et al., 2020; OCHABGCO et al., 2016). A seguir está apresentado a Tabela 1, a qual reúne os principais benefícios da utilização de leveduras probióticas.

Tabela 1. Benefícios apontados pelo consumo de probióticos para saúde intestinal.

Benefícios	Referências
Equilíbrio da microbiota intestinal	Roobab et al. (2020)
Estímulo do sistema imunológico	Hitch et al. (2022)
Melhora da saúde intestinal	Rahmah et al. (2021)
Efeitos antimicrobianos	Silva et al. (2020)

Fonte: Autores, 2023.

Conforme exposto acima, as leveduras probióticas podem ajudar no processo de restauração e manutenção do equilíbrio

da microbiota intestinal, devido, principalmente a sua capacidade de competir contra bactérias patogênicas e adesão à mucosa intestinal, dessa forma diminuindo a colonização e a proliferação de microrganismos nocivos à saúde humana (ROOBAB et al, 2020). Além disso, estudos têm demonstrado que as leveduras probióticas podem modular o sistema imunológico, aumentando, dessa forma a produção de citocinas anti-inflamatórias e estimulando a atividade das células imunes (HITCH et al., 2022). Essa resposta imunológica balanceada pode ajudar a fortalecer a resposta de defesa do organismo contra infecções e inflamações.

As leveduras probióticas têm sido associadas à melhora de distúrbios intestinais, como a diarreia causada por infecções bacterianas ou virais (RAHMAH et al., 2021). Efeitos antimicrobianos também são observados, uma vez que, leveduras potencialmente probióticas possuem a capacidade de secretar substâncias antimicrobianas, como por exemplo, peptídeos e ácidos orgânicos, os quais podem inibir o crescimento de patógenos (SILVA et al., 2020).

Concisamente, as leveduras probióticas representam microrganismos promissores na melhoria da saúde intestinal e imunológica, bem como na prevenção e tratamento de distúrbios gastrointestinais e outras condições associadas à disbiose intestinal, como já citado anteriormente. No entanto, mais pesquisas são necessárias para entender completamente os mecanismos de ação das leveduras probióticas, bem como para estabelecer a dosagem ideal e a duração do tratamento.

Potenciais fontes de isolamento

Em termos gerais, as leveduras podem ser encontrados em uma ampla variedade de habitats, como por exemplo, no solo, flores, folhas, algas, leite e seus derivados, grãos, frutos, entre outros locais (MOZZACHIODI et al., 2022; ABID et al., 2022; LAZO- VELEZ et al., 2018). Tais microrganismos são considerados simples de serem isolados e para isso são utilizadas técnicas de microbiologia, como por exemplo, o cultivo em meios seletivos, sejam eles líquidos ou sólidos (WILSON et al., 2016). O procedimento fundamental de isolamento consiste em suspender uma amostra do substrato desejado em solução salina estéril e espalhá-la ou semeá-la, pelo método de semeadura superficial ou em profundidade no meio de cultura

selecionado (CROUS et al., 2009).

As leveduras desempenham uma função essencial na área da biotecnologia, sendo utilizadas em diversas aplicações, tais como na síntese de enzimas, na produção de alimentos fermentados, a exemplo da cerveja, vinho e pão, e o emprego como probióticos (KIELISZEK et al., 2019; ADESULU-DAHUNSI et al., 2020). No presente contexto, a investigação de leveduras não convencionais assume um caráter de suma relevância, em virtude da sua potencial contribuição para o aprimoramento dos produtos adquiridos por meio de procedimentos biotecnológicos (ALENCAR et al., 2023).

As evidências encontradas na literatura demonstram que o isolamento das leveduras presentes nos frutos é adequado, em virtude das condições propícias proporcionadas pela composição nutricional dos frutos para a proliferação desses microrganismos (SOUSA et al., 2021; CORRÊA, 2019). Os frutos indígenas da região amazônica manifestam uma diversidade de compostos que apresentam potencialidades em termos de contribuições para o bem-estar humano (CHANG et al., 2018). Tais frutos têm despertado considerável interesse em diferentes segmentos da indústria devido às suas propriedades nutricionais e operacionais (SANTOS et al., 2018). Na pesquisa desenvolvida por Menezes et al. (2018), um total de 31 estirpes de leveduras, originárias de frutos amazônicos, foram isoladas e minuciosamente descritas, tendo suas capacidades biotecnológicas examinadas com rigor científico. No entanto, não foram realizados testes para avaliar o potencial probiótico dessas linhagens.

Dentre os frutos utilizados como fonte de obtenção de leveduras, os da região amazônica tem se destacado, possibilitando o isolamento de diversos microrganismos, além de permitir a valorização da região (MENEZES et al., 2018). Pesquisas recentes vêm sendo realizadas utilizando os seguintes frutos autóctones a esta região para o isolamento de leveduras não convencionais, são eles: bacupari, tucumã e pupunha (SANTOS et al., 2018; MENEZES et al., 2018).

Identificação de leveduras

Após a obtenção e isolamento de leveduras de uma fonte específica, segue-se o processo de identificação e classificação desses microrganismos, que pode ser realizado utilizando métodos

fenotípicos ou moleculares (ANSARI et al., 2019). Os métodos fenotípicos, embora mais antigos, são menos utilizados atualmente devido à necessidade de profissionais qualificados e ao tempo prolongado exigido em comparação aos métodos moleculares (FRANCO-DUARTE et al., 2019). No entanto, esses métodos ainda são relevantes para pesquisas, pois permitem a caracterização e classificação das leveduras com base em características morfológicas e bioquímicas, usando reações enzimáticas. Freydiere et al. (2018) analisaram vários testes bioquímicos disponíveis comercialmente para a identificação de leveduras, especialmente do gênero *Candida*, e alguns se destacaram por sua rapidez (com tempo de execução inferior a 5 horas) e baixo custo. No entanto, esses métodos são mais relevantes em laboratórios, pois requerem reações enzimáticas ou imuno-histoquímicas específicas.

Por outro lado, o método morfológico, utilizado por Miranda et al. (2021), Sousa et al. (2021) e Amorim et al. (2018), envolve a avaliação macroscópica das leveduras após o plaqueamento, levando em consideração a forma, elevação, margem, cor, brilho, textura e tamanho, para classificação dos isolados em morfotipos, bem como a avaliação microscópica (CROUS et al., 2009; KURTZMAN et al., 2010). No entanto, a precisão desse método depende da experiência e qualificação do operador, e variáveis como tempo de armazenamento das amostras, condições de incubação e a expressão variável de características em uma mesma espécie podem afetar os resultados (FRANCO-DUARTE et al., 2019).

Por outro lado, os métodos moleculares analisam o material genético das leveduras isoladas, permitindo a identificação e caracterização do seu DNA, o que possibilita avaliar a variabilidade genotípica dos isolados da mesma espécie (PIETROWSKI, 2011) e compará-los com dados em bancos genéticos internacionais. Esses métodos dependem principalmente de processos automatizados, exigindo recursos tecnológicos mais avançados em comparação com a intervenção humana, o que resulta em custos mais elevados, embora tenham se tornado mais acessíveis ao longo do tempo, mas também oferecem alta reprodutibilidade e precisão, tornando-os cada vez mais importantes para a pesquisa. Esses métodos exigem inicialmente a extração e isolamento do DNA de cada cultura, seguidos pela amplificação da região de interesse do DNA isolado por meio da reação

em cadeia da polimerase (PCR) (CROUS et al., 2009). Após isso, assim como realizado por Fernández-Pacheco et al. (2021a, 2021b) e Dey et al. (2017), ocorre o sequenciamento do fragmento amplificado e sua comparação com sequências previamente identificadas e publicadas, a fim de identificar a linhagem, é realizada a amplificação de DNA genômico em PCR utilizando primers de sequência arbitrária com 10 nucleotídeos, por meio da técnica RAPD (*random amplification of polymorphic DNA*).

Aplicação de leveduras probióticas em alimentos

A utilização de leveduras é ampla, estudos mostram sua importância em diversas áreas, como por exemplo, farmacêutica, de ração animal e alimentícia (ABID et al., 2022). Dando destaque para aplicação biotecnológica em alimentos, leveduras potencialmente probióticas podem ser empregadas na obtenção de alimentos fermentados à base de cereais (GREPPI et al. 2017), bebidas fermentadas a base de abacaxi (AMORIM et al., 2018), na produção de cervejas artesanais (MULERO-CEREZO et al, 2019) e produtos lácteos em geral (HELMY et al. 2019; SARWAR et al., 2019; SAADAT et al., 2020).

Dentre as espécies de leveduras referentemente utilizadas na produção de alimentos destacam-se: *Saccharomyces boulardii*, *Saccharomyces cerevisiae* Y34, *Candida norvegica*, *Galactomyces reessii* 34A, *Meyerozyma caribbica* e *Pichia kudriavzevii* (SOUZA et al, 2021). A aplicação de leveduras probióticas em alimentos mostra-se vantajosa, uma vez que a procura por alimentos com tais características têm aumentado (ÁVILA et al., 2020), fazendo assim com que haja uma agregação de valor ao alimento em questão (TERPOU et al., 2019).

Kadyan et al (2021), observaram em seu estudo o efeito positivo da fermentação de leveduras no desenvolvimento de uma bebida probiótica à base de soro de leite. Em outro estudo desenvolvido por Souza (2022), foi possível observar que a utilização de *S. boulardii* na produção de hidromel obteve resultados promissores, podendo ser utilizada como substituto a *S. cerevisiae*. Já Canonico et al (2021) utilizaram leveduras não convencionais com potencial probiótico para produção de cerveja artesanal e obtiveram resultados satisfatórios observando uma melhora em características de caráter aromático enfatizado.

Em suma, as leveduras probióticas têm se mostrado altamente

versáteis na indústria alimentícia, sendo utilizadas na produção de uma variedade de alimentos fermentados, bebidas e produtos lácteos. A incorporação dessas leveduras, como a *S. boulardii*, tem trazido benefícios significativos, especialmente à medida que a demanda por alimentos com propriedades probióticas continua a crescer. Estudos recentes têm enfatizado os efeitos positivos da fermentação com leveduras probióticas no desenvolvimento de bebidas e cervejas, melhorando características sensoriais, como o aroma, por exemplo. Essas descobertas promissoras destacam o potencial das leveduras probióticas para agregar valor aos alimentos, oferecendo opções mais saudáveis e funcionais aos consumidores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de leveduras probióticas isoladas de frutos amazônicos na aplicação em alimentos oferece uma perspectiva inovadora e promissora para a indústria alimentícia e para a saúde humana. Aproveitar o potencial desses microrganismos pode resultar na aplicação em alimentos, como na produção de iogurtes, bebidas fermentadas e produtos de panificação, podendo conferir propriedades funcionais aos alimentos, agregando valor nutricional e oferecendo opções saudáveis aos consumidores, contribuindo para a promoção de uma microbiota intestinal equilibrada e uma melhor qualidade de vida. No entanto, apesar dos avanços na pesquisa sobre leveduras probióticas, é importante ressaltar a necessidade de estudos adicionais para aprofundar o conhecimento sobre esses microrganismos e seus efeitos benéficos à saúde, além disso, a segurança alimentar e a viabilidade industrial também devem ser consideradas ao incorporar leveduras probióticas em produtos alimentícios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AVILA, Bianca Pio et al. Análise da percepção e comportamento dos consumidores em relação aos produtos lácteos probióticos. **Interna-**

tional Dairy Journal, v. 106, p. 104703, 2020.

ABID, Rameesha et al. Probiotic Yeast *Saccharomyces*: Back to Nature to Improve Human Health. **Journal of Fungi** 2022, 8, 444. <https://doi.org/10.3390/jof805044>.

ALBUQUERQUE, A. P.; RODRIGUES, T. J. A.; NETO, J. L. C.; ROCHA, A. P. T. Utilização de polpa de frutas em pó carregadoras de probióticos como alimento funcional: aspectos gerais e perspectivas. **Brazilian Journal Food Technology**, Campinas, v. 24, e2019310, 2021.

ALENCAR, David Johnson Pinheiro et al. POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO DOS FUNGOS. **BIOTECNOLOGIA MICROBIANA-VOLUME 1**, v. 1, n. 1, p. 43-62, 2023.

AMORIM, C. Julia; PICCOLI, H. Roberta; DUARTE, F. Whasley. Probiotic potential of yeasts isolated from pineapple and their use in the elaboration of potentially functional fermented beverages. **Food Research International** v.107, 518–527, 2018.

ANSARI, Juliana M. et al. Diversidade em nível de cepa de isolados probióticos comerciais de espécies de *Bacillus*, *Lactobacillus* e *Saccharomyces* ilustrada por identificação molecular e perfil fenotípico. **PloS um**, v. 14, n. 3, pág. e0213841, 2019.

AYYASH, Mutamed M. et al. Invited review: Characterization of new probiotics from dairy and nondairy products—Insights into acid tolerance, bile metabolism and tolerance, and adhesion capability. **Journal of Dairy Science**, v. 104, n. 8, p. 8363-8379, 2021.

AZHAR, Mohd Akmal; ABDUL MUNAIM, Mimi Sakinah. Identification and evaluation of probiotic potential in yeast strains found in kefir drink samples from Malaysia. **International Journal of Food Engineering** v. 15, n. 7, p. 20180347, 2019.

CASSANI, Lucía; GOMEZ-ZAVAGLIA, Andrea; SIMAL-GANDARA, Jesus. Technological strategies ensuring the safe arrival of beneficial microorganisms to the gut: From food processing and storage to their passage through the gastrointestinal tract. **Food Research International**, v. 129, p. 108852, 2020.

SOUSA, M. Nádia et al. Aspectos morfológicos de leveduras isoladas de frutas e flores. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 40309 - 40319 para 2021.

CORRÊA, P. Isabela. Avaliação de Leveduras no Controle Pós-colheita de *Aspergillus* sp. em grãos de café. Tese de doutorado. Curitiba/PR. Universidade Federal do Paraná. 2019.

CARVALHO, A. V.; BECKMAN, J. C.; MACIEL, R. A.; NETO, J. T. F. Características físicas e químicas de frutos de pupunheira no estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 35, n. 3, p. 763-768, 2013.

FRANCO-DUARTE, Ricardo et al. Avanços em métodos químicos e biológicos para identificar microrganismos - do passado ao presente. **Microorganismos** , v. 7, n. 5, pág. 130, 2019.

CANONICO, Laura et al. Lentil Fortification and Non-Conventional Yeasts as Strategy to Enhance Functionality and Aroma Profile of Craft Beer. **Foods**, v. 11, n. 18, p. 2787, 2022.

TERPOU, Antônia et al. Probióticos em sistemas alimentares: Significado e estratégias emergentes para melhorar a viabilidade e entrega de maior valor benéfico. **Nutrientes** , v. 11, n. 7, pág. 1591, 2019.

CONSTANTE, Marco et al. *Saccharomyces boulardii* CNCM I 745 modulates the microbiota-gut-brain axis in a humanized mouse model of Irritable Bowel Syndrome. **Neurogastroenterology & Motility**, v. 33, n. 3, p. e13985, 2021.

COSTA, B. E. T.; SANTOS, O. V.; CORRÊA, N. C. F.; FRANÇA, L. F. Comparative study on the quality of oil extracted from two tucumã varieties using supercritical carbon dioxide. **Food Science and Technology**, v. 36, n. 2, p. 322-328, 2016.

DUFOSSÉ, Laurent; FOUILLAUD, Mireille; CARO, Yanis. Fungi and fungal metabolites for the improvement of human and animal nutrition and health. **Journal of Fungi**, v. 7, n. 4, p. 274, 2021.

LOURENÇO, Maria Leilah Monte Coelho. Potencial probiótico de microrganismos isolados de grãos de kefir: uma análise in vitro. 2021.

MUKHERJEE, Arpan et al. Levedura, um potencial bioagente: futuro para o crescimento de plantas e manejo de doenças pós-colheita para agricultura sustentável. **Microbiologia aplicada e biotecnologia**, v. 104, p. 1497-1510, 2020.

MORAIS, PB, DE SOUSA, FMP; ROSA, CA Levedura em fitotelmata vegetal: Existe uma comunidade “núcleo” em diferentes localidades de savanas rupestres do Brasil?. **Brazilian Journal of Microbiology**, vol. 51, p. 1209–1218 (2020). <https://doi.org/10.1007/s42770-020-00286-1>.

TERCIOLO, Chloe; DAPOIGNY, Michel; ANDRE, Frederic. Beneficial effects of *Saccharomyces boulardii* CNCM I-745 on clinical disorders associated with intestinal barrier disruption. **Clinical and experimental gastroenterology**, p. 67-82, 2019.

TERHAAG, M. M.; BERTUSSO, R. F.; PRUDÊNCIO, H. S. Desenvolvimento de Bebidas Probióticas não Lácteas Adicionadas de *Saccharomyces boulardii*: Situação Atual e Perspectivas. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, e17491211031, 2020 (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i12.11031>.

SEHRAWAT, Rachna et al. Role of drying technology in probiotic encapsulation and impact on food safety. **Drying Technology**, v. 40, n. 8, p. 1562-1581, 2022.

SILVA, Diego Romário et al. Probiotics as an alternative antimicrobial therapy: Current reality and future directions. **Journal of Functional Foods**, v. 73, p. 104080, 2020.

SOUZA, Handray Fernandes de et al. On probiotic yeasts in food development: *Saccharomyces boulardii*, a trend. **Food Science and Technology**, 2021.

KADYAN, Saurabh et al. Effect of lactic acid bacteria and yeast fermentation on antimicrobial, antioxidative and metabolomic profile of naturally carbonated probiotic whey drink. **Lwt**, v. 142, p. 111059, 2021.

SOUZA, Handray Fernandes de. **Produção de hidromel por levedura probiótica**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RAHMAH, Pinka Alia et al. Correlation of knowledge, attitude, and practice toward probiotics for the digestive system among health science students. **Journal of Multidisciplinary Healthcare**, p. 1135-1144, 2021.

ROOBAB, Ume et al. Sources, formulations, advanced delivery and health benefits of probiotics. **Current Opinion in Food Science**, v. 32, p. 17-28, 2020.

HITCH, Thomas CA et al. Microbiome-based interventions to modulate gut ecology and the immune system. **Mucosal Immunology**, v. 15, n. 6, p. 1095-1113, 2022.

SILVA, D. A. R. R. et al. Alimentos funcionais: benefícios proporcionados à saúde, destacando o consumo de alimentos probióticos. **Ciência e Cultura. Lorena (SP)**, v. 13, n. 2, p. 101-110, 2017.

JARDIM, Laryssa Paniago; MAYNARD, Dayanne da Costa. Os efeitos dos probióticos contidos na bebida fermentada kombucha na saúde e na microbiota intestinal. 2022.

GIORDANO, Mario et al. Management of STEC gastroenteritis: is there a role for probiotics?. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 9, p. 1649, 2019.

DAHIYA, Divakar; NIGAM, Poonam Singh. Biotherapy using probiotics as therapeutic agents to restore the gut microbiota to relieve gastrointestinal tract inflammation, IBD, IBS and prevent induction of cancer. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 24, n. 6, p. 5748, 2023.

FRANÇA, Francisca Valbenia Carneiro. Compostos bioativos de frutas amazônicas e suas utilizações: revisão integrativa. 2022.

FRANCO-DUARTE, Ricardo et al. Avanços em métodos químicos e biológicos para identificar microrganismos - do passado ao presente. **Microorganismos**, v. 7, n. 5, pág. 130, 2019.

DA SILVA, Ana Jacklyne Moraes et al. Recursos naturais amazônicos como fontes potenciais de probióticos: uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e48611427496-e48611427496, 2022.

CONTRERAS-RODRIGUEZ, O.; MATA, F.; VERDEJO-ROMÁN, J.; RAMÍREZ-BERNABÉ, R.; MORENO, D.; VILAR-LOPEZ, R.; SORIANO-MAS, C.; VERDEJO-GARCÍA, A Neural-based valuation of functional foods among lean and obese individuals. **Nutrition Research**, v. 78, p. 27-35, 2020.

FERNÁNDEZ-PACHECO, P. P. Cristina; PÉREZ, B. Ana; ARÉVALO-VILLENA, Maria. Potential Probiotic Strains of *Saccharomyces* and Non- *Saccharomyces* : Functional and Biotechnological Characteristics. **Journal of Fungi** (Basel) 7.3 (2021): 177.

NARI, N. et al. Intestinal microbial ecology, immune response, stress indicators, and gut morphology of male broiler chickens fed low-phosphorus diets supplemented with phytase, butyric acid, or *Saccharomyces boulardii*. **Livestock Science**, v. 234, p. 103975, 2020.

LI, Yifei et al. Effect of a multistrain probiotic on feline gut health through the fecal microbiota and its metabolite SCFAs. **Metabolites**, v. 13, n. 2, p. 228, 2023.

ZOLDAN, Jocelane et al. Avaliação da viabilidade e sobrevivência à passagem gastrointestinal simulada de cepas potencialmente probióticas, bioacessibilidade e análise de antioxidantes em chocolates. 2022.

MOZZACHIODI, Simone et al. Yeasts from temperate forests. *Yeast* (Chichester, England). 2022 Jan;39(1-2):4-24. DOI: 10.1002/yea.3699. PMID: 35146791.

KIELISZEK, Marek et al. Effect of selenium on growth and antioxidative system of yeast cells. **Molecular biology reports**, v. 46, p. 1797-1808, 2019.

ADESULU-DAHUNSI, Adekemi Titilayo; DAHUNSI, Samuel Olatunde; OLAYANJU, Adeniyi. Synergistic microbial interactions between lactic acid bacteria and yeasts during production of Nigerian indigenous fermented foods and beverages. **Food Control**, v. 110, p. 106963, 2020.

SEÇÃO

II

*POTENCIAL DOS ÓLEOS OBTIDOS DE
FRUTOS AMAZÔNICOS*

CAPÍTULO VII - POTENCIAL DOS ÓLEOS OBTIDOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS

Larissa da Silva Gualberto; Bianca Barros Dias; Andreia Ibiapina; Hermann Matos Silva Sousa; Glêndara Aparecida de Souza Martins*

* *Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: glendarasouza@mail.uft.edu.br*

O bioma amazônico é considerado o maior ecossistema tropical remanescente do mundo, abrigando uma flora com aproximadamente 12.000 espécies distintas, das quais algumas frutas comestíveis são conhecidas como fontes de compostos bioativos (FARIA et al., 2021). Ocupa cerca de 4,1 milhões de km² do território brasileiro, sendo o maior bioma do Brasil (IBGE, 2019).

Neste contexto, a Lei nº 1.806, de 06 de janeiro de 1953 (BRASIL, 1953), a Amazônia legal corresponde a delimitação geopolítica com fins de aplicação de políticas de soberania territorial e econômica para a promoção de desenvolvimento sendo área de atuação da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia – SUDAM, é composta por 772 municípios de 9 estados brasileiros (Rondônia, Acre, Amazonas, Roraima, Pará, Amapá, Tocantins, Mato Grosso e Maranhão) (IBGE, 2020).

A biodiversidade amazônica é favorecida pelo clima quente e úmido e chuvas fortes, que ocorrem com frequência ao longo do ano (MATOS et al., 2019). Os frutos nativos dessa região têm alto valor nutricional e alta atividade antioxidante, tanto nas polpas quanto nos subprodutos por elas produzidos, como cascas e sementes. Além disso, a Amazônia brasileira é rica em espécies oleaginosas, com potencial valor econômico para diferentes aplicações industriais e biotecnológicas (IBIAPINA et al., 2021).

A bioeconomia na região amazônica se apresenta como um vetor capaz de gerar oportunidades de renda para as populações atuais e futuras. Assim, o mapeamento de informações sobre o potencial biológico das espécies nativas pode auxiliar na determinação de estratégias de pesquisas, de novas propriedades químicas e da

aplicação tecnológica adequada (SILVA; SEVALHO; MIRANDA, 2021).

Dentre as riquezas desse bioma destacam-se os frutos nativos. Conhecidos pelos termos “frutos exóticos” ou “superfrutos”, os frutos endêmicos da Amazônia legal são consumidos amplamente pelos moradores locais e encontrados em feiras abertas e mercados. Apreciados em sua forma *in natura* ou como picolés, sorvetes, doces, compotas ou recheio de sanduíches, os frutos tem ganhado atenção mundial de pesquisadores e indústrias alimentícias por serem fontes valiosas de componentes fitoquímicos, antioxidantes e bioativos (CHANG, ALASALVAR E SHAHIDI, 2019; MIRANDA *et al.*, 2021; SOUSA *et al.*, 2021).

A espécie *Astrocaryum vulgare* Mart. segundo a classificação botânica é pertencente ao reino Plantae, divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, ordem Arecales, família Arecaceae, e gênero *Astrocaryum* (ARAGÃO, 2013; OLIVEIRA, NETO & SILVA, 2018). Conhecido por diversos nomes como: Tucumã-Pará, tucumã-arara, tucumã-piranga, tucumã-piririca, tucumã-uassu-rana, tucum-assu, tucum-bravo, tucum-da-serra, tucum-do-matto e tucum-purupuru no Brasil; o Tucumã (*Astrocaryum vulgare*) é um fruto nativo da Amazônia legal brasileira (SAGRILLO *et al.*, 2015), sendo a espécie Vulgare é encontrada principalmente no estado do Pará (OLIVEIRA, NETO & SILVA, 2018; MATOS *et al.*, 2019).

Os frutos são drupas lisas ovóides com tamanho entre 5 e 6 cm de diâmetro, apresentando casca e polpa que variam de amarelo a laranja escuro e vermelho. A espécie *Astrocaryum vulgare* Mart. é encontrada e comercializada principalmente no estado do Pará. Além disso, o fruto é altamente nutritivo e sua polpa pode ser consumida *in natura* ou de forma processada (MATOS *et al.*, 2019; CARNEIRO *et al.*, 2017).

O fruto tucumã, possui grande potencial econômico, principalmente devido às suas características químicas, como presença de alto teor de vitaminas lipossolúveis, α -tocoferol, flavonoides e carotenoides com alta atividade antioxidante. Isso agrega valor nutricional e farmacológico, já que também apresenta atividade anti-inflamatória e anti-hiperglicêmica, principalmente relacionada à composição de carotenoides (MENEZES *et al.*, 2022; SERRA *et al.*, 2019).

A polpa do tucumã fornece um óleo alaranjado, o que é atribuído

a grandes quantidades β -caroteno, sendo ainda rico em ácidos graxos poli-insaturados. Já sua amêndoa produz uma gordura branca com alto teor de saturações, o qual é descrito como aproximadamente 88% da cadeia lipídica. O óleo extraído da polpa é composto basicamente de ácidos graxos palmítico e oleico, enquanto a semente apresenta gorduras ricas em ácidos graxos láurico e mirístico (IBIAPINA et al., 2021; SANTOS et al., 2021).

A palmeira do tucumã se adapta bem a diferentes tipos de terras, mesmo em solos ácidos, de fertilidade natural média a baixa. Além disso, apresenta alta produtividade por hectare. Esses fatores contribuem para considerar o fruto como uma promissora fonte de óleo vegetal e compostos bioativos em larga escala produtiva (MENEZES et al., 2022; IBIAPINA et al., 2021).

O bacupari (*Garcinia gardneriana*) é fruto pertencente à família Clusiaceae, popularmente conhecido como "bacupari", "Bacopari", "bacoparé" "porocó" "mangostão-amarelo" e "bacupari-mirim". Trata-se de uma árvore de porte médio, copa piramidal, folhas opostas, pecioladas, que floresce entre junho e novembro, sendo o fruto de coloração que varia do amarelo ao alaranjado, com uma polpa mucilaginosa branca comestível e maturação entre novembro e fevereiro (FERNANDEZ et al., 2021).

Os frutos do bacupari são bagas geralmente arredondadas ou oblongas, medindo cerca de 3 a 5 cm de comprimento por 2,5 a 3,5 cm de largura contendo uma casca lisa. São considerados adocicados, adstringentes e refrescantes, próprios para consumo in natura. Tal fruto, apresenta elevado potencial para exploração econômica pela sua atividade antimicrobiana, anti-inflamatória e antitumoral e pela larga aceitação de seus frutos tanto para consumo *in natura* como na forma processada, podendo estabelecer-se como uma nova opção para o mercado interno e externo de frutas exóticas (SEIXAS et al., 2015).

Em um estudo realizado por Silva et al. (2012) foi desenvolvido um iogurte utilizando a geléia do bacupari, que quando submetido ao teste de aceitabilidade sensorial, obteve um percentual de 93,8% de aceitação pelos provadores, o mesmo comportamento foi observado por Silva, Alves & Cerqueira (2012), em testes de formulações de geléias de bacupari, obtendo 88% de aprovação pelos provadores, e 72% de intenção de compra, percentual esse, interessante, pois

demonstra boa oportunidade para manipulação, conservação e comercialização, bem como impulsiona o incentivo ao consumo do bacupari, promovendo a valorização dos frutos biodisponíveis.

Apesar da literatura apresentar poucos trabalhos com esse fruto. Alguns estudos fitoquímicos revelaram a presença de compostos como xantonas, triterpenos lupeol e betulina, esteróide β -sitosterol, em cascas e madeira da planta (BRAZ FILHO et al., 1970; BERNARDI, 2009). Foram ainda, identificados flavonóides presentes principalmente nas folhas, e constituintes químicos com propriedades analgésicas e que também apresentaram atividade antibacteriana contra bactérias gram-positivas (CECHINEL FILHO et al., 2000; VERDI et al., 2004; BERNARDI, 2009).

Pertencente à família Aceraceae, a pupunha (*bactris gasipaes kunth*) (figura 4) é uma drupa com polpa comestível em torno de uma única semente, com cerca de 4 a 6 cm de comprimento e 3 a 5 cm de largura. O fruto da pupunheira pode apresentar diferentes pesos e formas variadas (cônica, ovoide ou elipsoide). Quando maduro, possui uma casca fina aderida à polpa, casca fibrosa vermelha, amarela ou laranja e polpa amilácea a oleosa, com média de 10% a 30% de óleo (ARAUJO et al., 2021; SANTOS et al., 2020).

A pupunha ou pupunheira é nativa de regiões tropicais, estando distribuída na América Latina e em toda a Bacia Amazônica brasileira. Apresenta ampla capacidade de adaptação a diferentes condições ecológicas (NEVES et al., 2020). Tradicionalmente, o fruto passa por cozimento em água com sal antes de seu consumo direto, por cerca de 30 a 60 minutos, para melhorar o sabor e eliminar os cristais de oxalato de cálcio da casca (ARAUJO et al., 2021).

A pupunha é considerada um fruto altamente nutritivo e energético (391,86 kcal), com potencial na indústria de alimentos associado a alto teor de carboidratos (75,18%), proteínas (3,96%), lipídios (8,22%), fibras (4,11%), caroteno (194,69 mg/g) e minerais (1,91%). Apresenta ainda atividade antimicrobiana, além de ser conhecida por seu uso na produção de palmito e extração de óleo fixo (IBIAPINA et al., 2021).

De acordo com Araujo et al., 2021, compostos bioativos estão comumente presentes nas diferentes partes da pupunha, conferindo significativa atividade antioxidante a este fruto. O teor de carotenoides desse fruto faz com que a pupunha se destaque entre as demais

oleaginosas. Isso porque pode acrescentar uma alta taxa diária de pró-vitamina A em diferentes faixas etárias da população brasileira (SANTOS et al., 2020).

O óleo fixo extraído da pupunha apresenta alto teor de ácidos graxos poliinsaturados oleico, linoleico e linolênico. Além disso, possui características que promovem qualidade à saúde quando ingerido, como na prevenção de doenças cardiovasculares (IBIAPINA et al., 2021).

Os ácidos graxos que compõem os óleos vegetais podem estar na sua forma livre ou na forma esterificada, formando os triglicerídeos. Mais de 95% da composição dos óleos vegetais é resultante da esterificação de uma molécula de glicerol associada a três moléculas de ácidos graxos, com pequenas quantidades de fosfatídeos, mono, di e tri-acilgliceróis. Contudo, cada espécie de oleaginosa apresenta variação na composição química do óleo extraído, influenciados por alguns fatores como condições climáticas, tipo de solo, época de crescimento da planta, maturidade e variação genética (OLIVEIRA, 2018).

Estudos envolvendo frutos oleaginosos vêm aumentando por serem possíveis fontes alternativas de geração de energia e apresentarem funções tecnológicas essenciais para a indústria. Nesse contexto, os frutos amazônicos apresentam grande potencial, pois além de apresentarem bom conteúdo lipídico, os óleos e gorduras vegetais produzidos por essas espécies nativas têm composições e propriedades importantes (LIMA et al., 2017; BEZERRA et al., 2017; PEREIRA et al., 2019; IBIAPINA et al., 2021).

Os óleos vegetais quando na forma sólida na temperatura ambiente, são chamados de gorduras ou manteigas e quando na forma líquida de óleos. A diferença se dá pela composição dos ácidos graxos, levando em consideração o grau de instauração, a posição destas na molécula de glicerol e o comprimento da cadeia carbônica (OLIVEIRA, 2018).

O interesse por óleos e gorduras de origem vegetal demonstra a busca para obter novas fontes, ao passo da substituição das gorduras de origem animal. Sua utilização não se restringe apenas a fins alimentícios, mas também podem ser utilizados pelas indústrias química, farmacêutica, cosmética e de biocombustíveis (OLIVEIRA; LUZIA; JORGE, 2021). Na tabela 1, pode-se observar alguns frutos

amazônicos e as diversas áreas de aplicações.

Tabela 1: Frutos amazônicos e suas aplicações

FRUTO	APLICAÇÕES	AUTOR
Babaçu (<i>Attalea speciosa</i>)	Produção de revestimentos comestíveis (filme); Suplemento alimentar Biodisel	Rodrigues et al., 2020; Lopes et al., 2020; Ferreira et al., 2020 Soares, 2021; Pereira, 2020; Parente, 2020 Ferreira et al., 2018; Figueiredo et al., 2019; Santos, 2019
Bacaba (<i>Oenocarpus distichus</i>)	Óleos e Compostos bioativos Alimentos: Funcionais, Barra de cereal, microemulsões, farinhas Biodisel	Mafra, 2019; Cunha et al., 2019; Carvalho et al., 2016, Da Silveira et al., 2020 Da Costa et al., 2017; De Oliveira Pereira et al., 2020; Torres et al., 2019; Barros et al., 2021 Da Silva Kozłowski et al., 2019; Santos e Martins, 2021
Murumuru (<i>Astrocaryum murumuru</i>)	Cosméticos Compostos bioativos Ração Animal Biodisel	Marronato et al., 2016; Funasak et al., 2016; Smith, 2015; Alves, 2018 Gomes et al., 2019; Costa-Singh, 2015. De Menezes et al., 2016 Lima et al., 2017; Neves et al., 2018
Patawa (<i>Oenocarpus bataua</i>)	Óleos e compostos bioativos Ração Animal	Darnet et al., 2011; Rodrigues et al., 2010; Rezaire et al., 2014; Pereira et al., 2020, Hidalgo et al., 2016 Queiroz et al., 2020
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Óleos e Compostos bioativos Farmacológico Alimentos: Funcionais, farinhas, doces, sorvete, bebida alcoólica	Kang et al., 2011; Garzón et al., 2017, Cedrim et al., 2018; De Oliveira et al., 2019; Silva et al., 2021. Da Costa et al., 2017; Barros et al., 2021; Augusto et al., 2019; Siqueira et al., 2018
Pracaxi (<i>Pentaclethra Macroboba Wild</i>)	Óleos e compostos bioativos Cosméticos Farmacológica	Teixeira et al., 2020; Pereira et al 2019 Scaramella et al., 2020. Nestor e Berman, 2018

Para determinar as características de identidade e qualidade de óleos e gorduras alguns parâmetros analíticos são empregados, como os índices de acidez, de refração, de saponificação e de iodo. Valores de acidez monitoram diretamente a qualidade dos óleos. Já os valores de saponificação, refração e iodo estão mais relacionados com propriedades intrínsecas da amostra, como comprimento da cadeia carbônica e número de ligações insaturadas (SERRA et al., 2019).

O índice de acidez mede a presença de ácidos graxos livres corrosivos e produtos de oxidação, sendo importante parâmetro de qualidade do óleo. As mudanças oxidativas e químicas nos óleos durante o armazenamento são caracterizadas por um aumento do conteúdo de ácidos graxos livres e diminuição da insaturação total dos óleos (AZUAGA et al., 2019).

Maiores valores de acidez sugerem a presença de grande quantidade de ácidos graxos livres. Isso indica que o óleo analisado possa ter sofrido alterações enzimáticas ou oxidativas durante algumas etapas do processamento, como tempo de armazenamento da matéria-prima, processo de extração e condições de armazenamento, consequentemente, quanto menor o índice, menor é a taxa de degradação.

Em um estudo realizado com os frutos amazônicos: murumuru, ucuuba, cupuaçu, bacuri, buriti, castanha do Brasil, patawa, semente de paixão, pracaxi, copaíba, andiroba e babaçu, mostrou valores de acidez variando de 0,54 a 36,5 mgKOH/g, o que para a indústria alimentícia são preferíveis os óleos e gorduras com menor acidez (OLIVEIRA, 2018; SERRA et al., 2019).

O índice de refração é um parâmetro de identidade que indica o grau de insaturação de uma amostra. Depende ainda do peso molecular, comprimento da cadeia de ácido graxo e grau de conjugação dos óleos. Os triacilgliceróis possuem índices de refração mais altos do que seus ácidos livres constituintes. Contudo, o valor do índice de refração para óleos de frutos geralmente variam entre 1,45 e 1,51 (SERRA et al., 2019; AZUAGA et al., 2019).

O índice de saponificação é definido como a quantidade de hidróxido de potássio (KOH), necessários para saponificar os ácidos graxos, resultantes da hidrólise de um grama da amostra. Ao determinar tal índice é possível verificar o grau de deterioração e a estabilidade do óleo, identificando possíveis fraudes e adulterações quando

suas propriedades estejam em desacordo com as especificações (OLIVEIRA; LUZIA; JORGE, 2021).

Tal parâmetro representa um índice de massa molecular média de ácido graxo no óleo. Valores mais baixos de saponificação sugerem que o peso molecular médio dos ácidos graxos é menor ou que o número de ligações éster é menor. Isso pode significar que as moléculas de gordura não interagiram umas com as outras (AZUAGA et al., 2019).

Em frutos amazônicos, o trabalho realizado por Pereira et al., (2019) com o bacuri, murumuru, tucumã, castanha do Brasil, pracaxi e patawa demonstrou uma faixa de índice de saponificação variando de 164,44 a 246,43 mg KOH/g.

O índice de iodo mede o grau de insaturação em uma gordura ou óleo vegetal. Por meio deste método é possível inferir a estabilidade dos óleos à oxidação, uma vez que permite determinar qualitativamente a insaturação geral dos ácidos graxos (AZUAGA et al., 2019).

Segundo Castro et al. (2021), os valores do índice de iodo podem variar devido à sazonalidade da oleaginosa, da variedade agrônômica ou do tipo de processamento do óleo. Os autores destacam ainda que altos índices de iodo favorecem a degradação térmica e oxidativa do óleo, visto que quanto maior o grau de insaturação, maior o índice de iodo. Normalmente, em frutos amazônicos o índice de iodo pode variar de 10 a 187 gI/g (BEZERRA et al., 2017; LIMA et al., 2017; PEREIRA et al., 2019; SERRA et al., 2019)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sementes dos frutos amazônicos se mostraram potenciais quanto ao teor de fibra, conteúdo mineral e carboidratos, tendo as sementes do tucumã e da pupunha se destacado como matérias primas de alto valor energético. E ainda, as sementes dos frutos mostram serem fontes ricas em carotenoides, vitamina C, β -caroteno, compostos fenólicos e agentes antioxidantes, torna-as insumos de potencial tecnológico, além de promoverem benefícios a saúde do consumidor. Quanto aos óleos a literatura aponta parâmetros satisfatórios perante a legislação brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, K. L. D. M. **Desenvolvimento e avaliação de estabilidade preliminar de emulsões cosméticas utilizando nanopartículas lipídicas sólidas de muru muru (*Astrocaryum murumuru*) e ucuúba (*Virola surinamensis*)**. 2018.

ARAGÃO, A. B. DE. Caracterização bioquímica e centesimal das espécies de tucumã e uxi. **Dissertação/Mestrado em Biotecnologia**, p. 97, 2013.

ARAUJO, N. M. P. et al. Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review. **Food Research International**, v. 147, p. 110520, 2021.

AUGUSTO, P. P. C.; VISSOTTO, F. Z. & BOLINI, H. M. A. Sensory impact of three different conching times on white chocolates with spray-dried and freeze-dried açai (*Euterpeoleracea*). **Food science and technology international**, v. 25, n. 6, p. 480-490, 2019.

AZUAGA, I. C.; IGBUM, O. G. & IKYENGE, B. A. Optimisation of Synthetic Antioxidants in Inhibiting Oxidative rancidity in Hura Crepitans, Seed Oil. **International Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 2, nº 1, 2019.

BARROS, S. K. A. et al. Obtenção e caracterização de farinhas de caroço de açai (*Euterpe Oleracea*) e de casca de bacaba (*Oenocarpus Bacaba*). *Research, Society and Development*, v. 10, n. 4, p. e2710413724-e2710413724, 2021.

BERNARDI, C. A. ***Garcinia gardneriana* (planchon & triana) zappi. como alternativa de anti-inflamatório tópico para o tratamento de doenças da pele: um estudo pré-clínico**. 2009. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Farmácia, Farmacologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009. Disponível em:

[https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26695/Dissertacao_Camila%20P DF.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/26695/Dissertacao_Camila%20P%20DF.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Acesso em: 14 jan. 2022.

BEZERRA, C. V. et al. Technological properties of amazonian oils and fats and their applications in the food industry. **Food chemistry**, v. 221, p. 1466-1473, 2017.

BRASIL, Lei nº 1.806, de 06 de janeiro de 1953. Dispõe sobre o Plano de Valorização Econômica da Amazônia, cria a superintendência da sua execução e dá outras providências. Diário Oficial da União. Seção 1. 07/01/1953. p. 276.

BRAZ FILHO, R.; CAVALCANTE DE MAGALHÃES, G. & GOTTLIEB, O. R. Xanthones of *Rheedia gardneriana*. **Phytochemistry**, v. 9, p. 673, 1970.

CARAMELLA, L.R. et al. Uso do óleo vegetal de Pracaxi como silicone natural na haste capilar. **Brazilian Journal of Natural Sciences**, v. 3, n. 3, p. 514-514, 2020.

CARNEIRO, A. B. A. et al. Effect of *Astrocaryum aculeatum* (tucumã) on doxorubicin toxicity: in vivo experimental model. **Acta Paulista de Enfermagem**, v. 30, n. 3, p. 233, 2017.

CARVALHO, A.V. et al. Phenolic composition and antioxidant capacity of bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) genotypes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 54, p. 1-9, 2016.

CASTRO, V. R. et al. Avaliação da qualidade oleoquímica das sementes de gergelim (*Sesamum indicum*) e girassol (*Helianthus annuus*). **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, 2021.

CECHINEL FILHO, V. et al. F.I3- naringenina-118-4'-OMe-eriodictyol: a new potential analgesic agent isolated from *Rheedia gardneriana* leaves. **Zeitschrift für Naturforsch**, v. 55c, p.820-823, 2000.

CEDRIM, P.C.A.S. et al. Propriedades antioxidantes do açaí (*Euterpe oleracea*) na síndrome metabólica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C. & SHAHIDI, F. Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects—A comprehensive review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 10, p. 1580-1604, 2019.

COSTA-SINGH, T. Avaliação dos parâmetros físico-químicos e estabilidade de compostos bioativos em óleos de polpa e amêndoa de frutos amazônicos. 2015.

CUNHA, V. M. B. et al. Extração de óleo de bacaba-de-leque (*Oenocarpus distichus* Mart.) utilizando CO₂ supercrítico e determinação de compostos bioativos na polpa residual. **The Journal of Supercritical**. 2019.

DA COSTA, W. A. et al. AÇAÍ (*Euterpe oleracea*) and Bacaba (*Oenocarpus bacaba*) as functional food. **Superfood and functional food-an overview of their processing and utilization**. IntechOpen, p. 155-172, 2017.

DA SILVA KOZLOWSKI, L. et al. APLICAÇÃO DOS EXTRATOS DOS FRUTOS DE INAJÁ, BACABA E TUCUMÃ COMO ADITIVOS NO BIO-DIESEL. **Fórum de Integração Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação Tecnológica do IFRR-e-ISSN 2447- 1208**, v. 6, n. 1, 2019.

DA SILVEIRA, T. F. F. et al. Effect of solvent composition on the extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity of bacaba juice (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 5, p. 1119-1128, 2020.

DARNET, S. H. et al. Nutritional composition, fatty acid and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*) and patawa (*Oenocarpus bataua*) fruit pulp from the Amazon region. **Food Science and Technology**, v. 31, p. 488-491, 2011.

DE MENEZES, B. P. et al. Intake, digestibility, and nitrogen balance of rations containing different levels of murumuru meal in sheep diets. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 37, n. 1, p. 416-427, 2016.

DE OLIVEIRA PEREIRA, F. et al. Elaboração e avaliação físico-química, microbiologia e sensorial de barra de cereal enriquecida com bacaba (*Oenocarpus distichus* MART). **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 36209-36218, 2020.

DE OLIVEIRA, N. K. et al. Antioxidant effect of flavonoids present in *Euterpe oleracea* Martius and neurodegenerative diseases: A literature review. **Central Nervous System Agents in Medicinal Chemistry**

(Formerly Current Medicinal Chemistry-Central Nervous System Agents), v. 19, n. 2, p. 75-99, 2019.

FARIA, J. V. et al. Comparative evaluation of chemical composition and biological activities of tropical fruits consumed in Manaus, central Amazonia, Brazil. **Food Research International**, v.139, 2021.

FERNANDEZ, C. M. M. et al. Chemical composition and seasonal variation of the essential oils of leaves of *Garcinia gardneriana* (Planchon and Triana) Zappi (Clusiaceae). **Australian Journal of Crop Science**, v. 15, n. 1, p. 1-8, 2021.

FERREIRA, A. M. et al. Amazon oils from andiroba (*Carapa* sp.) and babassu (*Orbignya* sp.) for preparation biodiesel by enzymatic catalysis. **Current Biotechnology**, v. 7, n. 6, p. 428-437, 2018.

FERREIRA, D. C., MOLINA, G. & PELISSARI, F. M. Effect of edible coating from cassava starch and babassu flour (*Orbignya phalerata*) on Brazilian Cerrado Fruits Quality. **Food and Bioprocess Technology**, v. 13, n. 1, p. 172-179, 2020.

FIGUEREDO, I. D. M. et al. Effects of amine and phenolic based antioxidants on the stability of babassu biodiesel using rancimat and differential scanning calorimetry techniques. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 59, n. 1, p. 18-24, 2019.

FUNASAKI, M. et al. Amazon rainforest cosmetics: chemical approach for quality control. **Química Nova**, v. 39, p. 194- 209, 2016.

GARZÓN, G. A. et al. Polyphenolic composition and antioxidant activity of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) from Colombia. **Food chemistry**, v. 217, p. 364-372, 2017.

GOMES, G. V. L. et al. β -carotene and α -tocopherol coencapsulated in nanostructured lipid carriers of murumuru (*Astrocaryum murumuru*) butter produced by phase inversion temperature method: characterisation, dynamic in vitro digestion and cell viability study. **Journal of microencapsulation**, v. 36, n. 1, p. 43-52, 2019.

HIDALGO, P. SP et al. Plantas oleaginosas amazônicas: Química e atividade antioxidante de patauá (*Oenocarpus bataua* Mart.). **Revista**

Virtual de Química, v. 8, n. 1, p. 130-140, 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Biomas e Sistema Costeiro- Marinho do Brasil 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/15842-biomas.html>. Acesso em: 10 jan. 2021.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2020). URL <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/mapas-regionais/15819-amazonia-legal.html?=&t=o-que-e>. Acessado em 13 de setembro de 2021.

IBIAPINA, A. et al. Essential and fixed oils from Amazonian fruits: proprieties and applications. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-13, 2021.

KANG, J. et al. Flavonoids from acai (*Euterpe oleracea* Mart.) pulp and their antioxidant and anti- inflammatory activities. **Food Chemistry**, v. 128, n. 1, p. 152-157, 2011.

LIMA, R. P. et al. Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) butter and oils of buriti (*Mauritia flexuosa* Mart.) and pracaxi (*Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze) can be used for biodiesel production: Physico- chemical properties and thermal and kinetic studies. **Industrial crops and products**, v. 97, p. 536-544, 2017.

LINS, R. T. **Determinação de tocoferóis e carotenóides em frutas amazônicas: Implantação de uma metodologia**. 2006. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Pará, Belém. 80p.

LOPES, I. A. et al. Elaboration and characterization of biopolymer films with alginate and babassu coconut mesocarp. **Carbohydrate polymers**, v. 234, p. 115747, 2020.

MAFRA, V. R. Potencial farmacológico e toxicológico da mutamba (*Guaxuma ulmifolia*) e da bacaba (*Oenocarpus bacaba*). 2019.

MARRONATO, A. et al. Comparison of sunscreens containing titanium dioxide alone or in association with cocoa, Murumuru Or Cupuaçu Butters. **Journal Biomedical and Biopharmaceutical Research**, v. 13, n. 2, p. 229-44, 2016.

MATOS, K. A. N. et al. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food Chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MENEZES, E. G. O. et al. Development of a new scale-up equation to obtain Tucumã-of-Pará (*Astrocaryum vulgare* Mart.) oil rich in carotenoids using supercritical CO₂ as solvent. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 181, p. 105481, 2022.

MIRANDA, P. H. S. et al. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, n. August 2020, p. 335-345, 2021.

NESTOR, M. & BERMAN, B. Efficacy of a Silicone-Based Gel Containing Pracaxi Oil (*Pentaclethra macroloba*) for Treating Post-Surgical Scars. **SKIN The Journal of Cutaneous Medicine**, v. 2, n. 6, 2018.

NEVES, B. R. et al. Condicionamento fisiológico de sementes de pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth). **Revista de Ciências Ambientais**, v. 14, n. 3, p. 49-59, 2020.

NEVES, M. C. T. et al. Effects of Murumuru (*Astrocaryum murumuru* Mart.) and soybean biodiesel blends on tractor performance and smoke density. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 6, p. 878-885, 2018.

OLIVEIRA, M.; LUZIA, D. M. M. & JORGE, N. Caracterização físico-química de manteigas de frutos amazônicos. **ForScience**, v. 9, n. 2, 2021.

OLIVEIRA, S. F.; NETO, J. P. M.; SILVA, K. E. R. Uma revisão sobre a morfoanatomia e as propriedades farmacológicas das espécies *Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 3, p. 18-28, 2018.

PARENTE, M. D. O. M. et al. Effects of the dietary inclusion of babassu oil or buriti oil on lamb performance, meat quality and fatty acid composition. **Meat science**, v. 160, p. 107971, 2020.

PEREIRA, E. et al. Deacidification of Amazonian Pracaxi (*Pentaclethra macroloba*) and Patawa (*Oenocarpus bataua*) oils: experimental and modeling of liquid-liquid extraction using alcoholic solvents.

Brazilian Journal of Chemical Engineering, v. 37, n. 4, p. 783- 794, 2020.

PEREIRA, E. et al. Physical properties of Amazonian fats and oils and their blends. **Food chemistry**, v. 278, p. 208-215, 2019.

PEREIRA, P. T. V. T. et al. Supplementation with babassu oil reduces fatigue and inflammation in breast cancer patients: A pilot randomized clinical trial. **Journal of Functional Foods**, v. 73, p. 104105, 2020.

QUEIROZ, A. C. M. D. et al. Efeitos da inclusão de torta de patauá, *Oenocarpus bataua* em silagens de capim elefante. **Acta Amazonica**, v. 50, n. 2, p. 101-107, 2020.

REZAIRE, A. et al. Amazonian palm *Oenocarpus bataua* ("patawa"): Chemical and biological antioxidant activity–Phytochemical composition. **Food chemistry**, v. 149, p. 62-70, 2014.

RODRIGUES, S.C. et al. Morphological, structural, thermal properties of a native starch obtained from babassu mesocarp for food packaging application. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 9, n. 6, p. 15670-15678, 2020.

SAGRILLO, M. R. et al. Tucuma fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. **Food Chemistry**, v. 173, p. 741-748, 2015.

SANTOS, J. & MARTINS, V.L. Produção e Otimização do Biodiesel de óleo de bacaba (*Oenocarpus bacaba* Mart.). **Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente**, v.2, n. 4, p. 1-8, 2021.

SANTOS, J.D.S. **Cálculo e predição da produção de biodiesel de óleo de babaçu por destilação reativa contínua**. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

SANTOS, O.V.D. et al. Chromatographic profile and bioactive compounds found in the composition of pupunha oil (*Bactris gasipaes* Kunth): implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 33, 2020.

SANTOS, P.D.D.F. et al. Application of spray drying for production

of microparticles containing the carotenoid-rich tucumã oil (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **LWT**, v. 143, p. 111106, 2021.

SEIXAS, F.R.F.; MATOS, A.P.P. & VICENTE, E. Avaliação Físico-Química Do Bacupari(*Rheedia Gardneriana*) Proveniente Da Amazônia Ocidental, In: XIII Jornada Científica daUNESC, 2015, Cacoal. **Anais da XIII Jornada Científica da UNESC**, 2015.

SERRA, J. L. et al. Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocots, total carotenoids and chemical composition. **Food researchinternational**, v. 116, p. 12-19, 2019.

SILVA, A. J. B.; SEVALHO, E. S. & MIRANDA, I. P. A. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v.31, nº 2, p. 1020-1046, 2021.

SILVA, A.; ALVES, M. & CERQUEIRA, G. Elaboração e análise sensorial de geléia de bacupari (*Garcinia* sp.). In: **VII CONNEPI-Congresso Norte Nordeste Pesquisa e Inovação**. 2012.

SILVA, M.A.C.N.D. et al. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) Seed Extract Induces ROS Production and Cell Death in MCF-7 Breast Cancer Cell Line. **Molecules**, v. 26, n. 12, p. 3546, 2021.

SIQUEIRA, A.P.S. et al. Diferenças tecnológicas entre polpas de açai e juçara esesorbets. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

SMITH, N. *Astrocaryum murumuru*. In: **Palms and People in the Amazon**. Springer, Cham. p. 61-72. 2015.

SOARES, M. C. R. et al. Effect of babassu mesocarp as a food supplement during resistance training. **Journal of Medicinal Food**, v. 24, n. 4, p. 411- 421, 2021.

SOUSA, H. M. S. et al. Some wild fruits from amazon biodiversity: composition, bioactivecompounds, and characteristics. **Food Research**, v. 5, n. 5, p. 17-32, 2021.

TEIXEIRA, G. L. et al. Composition, thermal behavior and antioxidant

activity of pracaxi(*Pentaclethra macroloba*) seed oil obtained by supercritical CO₂. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 24, p. 101521, 2020.

TORRES, M. D. P. R. et al. Development, characterization and stability of microemulsified formulations of bacaba, *Oenocarpus bacaba* oil. **Acta Amazonica**, v. 49, p. 246-255, 2019.

VERDI, L.G. et al. Antibacterial and brine shrimp lethality tests of biflavonoids and derivatives of *Rheedia gardneriana*. **Fitoterapia**, v. 75, p. 360-363, 2004.

WATERHOUSE, A.L. Determination of total phenolics. *Current protocols in food analytical chemistry*, v. 6, n. 1, New York: John Wiley & Sons. 2002.

YANG, C. et al. Citric acid treatment reduces decay and maintains the postharvest quality of peach (*Prunus persica* L.) fruit. **Food science & nutrition**, v. 7, n. 11, p. 3635-3643, 2019.

YOUNG, A. F. **Comparação da produção de biodiesel a partir dos óleos de soja e de dendê com etanol via catálise homogênea alcalina**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

ZAMBRANO, M.V. et al. Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 88, p. 484–496, 2019.

ZHANG, H. & TSAO, R. Dietary polyphenols, oxidative stress and antioxidant and anti-inflammatory effects. **Current Opinion in Food Science**, v. 8, p. 33-42, 2016.

CAPÍTULO VIII - COMPOSIÇÃO QUÍMICA, ATIVIDADE ANTIOXIDANTE E COMPOSTOS BIOATIVOS DE FRUTOS AMAZÔNICOS

Hermannny Matos da Silva Sousa; Gabriela Fonseca Leal; Larissa da Silva Gualberto; Diana Lopes Silva; Barbara Catarina Bastos de Freitas; Glêndara Aparecida de Souza Martins*

* Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: glendarasouza@mail.uft.edu.br

O Brasil é o país com a maior biodiversidade do mundo, abrigando cerca de 20 % da totalidade de espécies vegetais encontradas no planeta (MMA, 2019). Os frutos desta biodiversidade, nativa e exótica, apresentam um potencial expressivo de compostos bioativos, que podem ser uma fonte de bioprodutos com valor agregado (MARIUTTI et al., 2014). Em meio a tais diversidades pode-se destacar três frutos oriundos da agricultura periurbana: Bacupari, Pupunha e Tucumã. Estes são frutos nativos, ricos em compostos antioxidantes, vitaminas, flavonóides, carotenóides e compostos fenólicos totais, características que contribuem para a melhora da saúde de consumidores (GONTIJO et al., 2012; MATOS et al., 2019).

O bacupari (*Garcinia gardneriana* (Planch & Triana) Zappi), pertence à família *Clusiaceae* e ao gênero *Garcinia*, sendo popularmente conhecido como bacupari, bacoparé e também de mangostão amarelo. O bacuparizeiro é encontrado na margem de rios e córregos, sendo utilizado, principalmente, na medicina tradicional contra infecções, dores e diversos tipos de inflamação (MOREIRA et al., 2018; ROCHA et al., 2018a). Além disso, seus frutos são apreciados tanto no consumo *in natura* quanto seus derivados. Esta árvore é nativa do Brasil, encontrada principalmente na região amazônica, porém é cultivada em todo o Brasil (RODRIGUES et al., 2021). Em certas épocas do ano, essa espécie pode resistir a inundações ou submersão por vários dias, capacidade esta que permite que o fruto do bacupari se adapte facilmente aos diversos climas brasileiros (SOUZA, De et al., 2013).

Segundo Santa-Cecília et al., (2011), o bacuparizeiro é uma árvore

de tamanho médio, com altura de 5 a 7 metros, e seu tronco pode variar de 15 a 25 cm, que floresce de agosto a setembro. Seus frutos são amarelos, com polpa branca mucilaginosa, do tipo baga, de 3 a 5 cm de comprimento por 2,5 a 3,5 cm de largura, arredondado ou oblongo. São apreciados no consumo *in natura* ou na forma de sorvetes, doces, sucos e outros produtos pela população local (ROCHA et al., 2018a).

As espécies de *Clusiaceae* estão distribuídas principalmente em regiões tropicais. Compreendem cerca de 40 gêneros e 1200 espécies, sendo *Garcinia (Rheedea)* o gênero mais numeroso com cerca de 400 espécies, amplamente distribuídas na Ásia tropical, África, Nova Caledônia, Polinésia e Brasil (SANTA-CECÍLIA et al., 2011). As espécies de *Garcinia* são conhecidas por serem ricas em metabólitos secundários, como as xantonas preniladas e oxigenadas (CUI et al., 2010).

O gênero *Garcinia* demonstrou por estudos fitoquímicos possuir uma grande diversidade de compostos bioativos, como benzofenonas, xantonas e flavonóides, como 7-Epiclusianona e moreloflavona (MOREIRA et al., 2018). Muitos desses constituintes são princípios ativos com propriedades farmacológicas contra várias doenças (CASTRO et al., 2015).

Foram relatados em pesquisas anteriores que o extrato de bacupari apresenta atividade antiinflamatória e antioxidante (SANTA-CECÍLIA et al., 2012) e estudos recentes constataram que o extrato de casca de bacupari tem efeito antiobesogênico em ratos obesos, tratados com dieta hiperlipídica (MOREIRA et al., 2017). Já em outras pesquisas foram comprovadas que os compostos bioativos presentes nos extratos da casca e da semente do bacupari apresentam propriedades antimicrobianas (GONTIJO et al., 2012), anti-inflamatórias (MELO et al., 2021a), ansiolíticas (CARVALHO-SILVA et al., 2012), leishmanicidas e fotoprotetoras (FIGUEIREDO et al., 2014).

Entretanto, os subprodutos: casca e sementes, do bacupari, representam cerca de 60% da massa do fruto. Embora represente uma proporção significativa, e com estudos realizados a respeito das qualidades fitoquímicas, farmacêuticas e medicinais dessa fruta, atualmente há poucos trabalhos na literatura discutindo o uso de semente ou casca como ingrediente no desenvolvimento de novos produtos para a indústria de alimentos (MELO et al., 2021b).

A pupunha (*Bactris gasipaes* (Kunth)), é uma espécie de

palmeira da família *Arecaceae*, nativa do bioma Amazônia. O fruto é uma drupa com polpa comestível em torno de uma única semente (rígida/fibrosa), com 4–6 cm de comprimento e 3–5 cm de largura, com formas diferentes (cônica, ovoide ou elipsóide) e pesos variados (20–205 g) (NERI-NUMA et al., 2018). Além disso, apresenta uma casca fina aderida à polpa, com coloração diversificada (vermelha, laranja ou amarela), dependendo da variedade e do estágio de maturação, podendo ter a presença ou ausência de sementes (DA COSTA et al., 2019).

A palmeira pupunha ou pupunheira, é caracterizada por ser monóica, alógama, espinhosa, polivalente e pode atingir até 20 m de altura, com folhas pinadas na copa. O cacho pode conter entre 50 - 1000 frutos, podendo ser considerada uma drupa, que apresenta um epicarpo fibroso vermelho, amarelo ou laranja, um mesocarpo e endocarpo oleoso (VALENCIA et al., 2015). Ocorrem principalmente em áreas de mata úmida próximos de cursos d'água permanente, onde os índices pluviométricos são bastante diferenciados, variando de 2.000 a 6.000 mm, sendo então categorizado por ter uma umidade relativa do ar superior a 80% (Silva, 2008). Seus frutos são pequenas drupas com diâmetro médio de 3-4 cm de diâmetro (CHISTÉ & FERNANDES, 2016).

Tradicionalmente, a pupunha é consumida após o cozimento em água com sal ou açúcar para melhorar o sabor e eliminar os cristais de oxalato de cálcio da casca (MATOS, 2019). Outras preparações são relatadas, como frutas fritas, saladas, tortas, tortilhas de sementes para crianças e doces, sendo consumidas mais no café da manhã e lanche da tarde (PIRES et al., 2021)

Assim como outras frutas amazônicas, a pupunheira apresenta uma promissora composição de lipídios e compostos bioativos, principalmente carotenóides (pró-vitamina A) e compostos fenólicos (SANTOS et al., 2015b; MATOS et al., 2019). De acordo com a literatura, a ingestão frequente desses compostos tem sido associada à diminuição da incidência de doenças crônico-degenerativas (LUNA-GUEVARA et al., 2018).

A pupunha é uma importante fonte de manganês, potássio, ferro e zinco para consumo diário recomendado. Destaca-se o alto teor de vitamina A na fruta, três vezes mais que a dose diária recomendada. A vitamina A desempenha papéis fisiológicos importantes (por

exemplo, modulação das funções ópticas, reprodutivas, imunológicas, desenvolvimento de osso/tecido e queratinização da pele) (HU et al., 2020).

O teor de óleo presente na polpa da pupunha possui elevado teor de ácidos graxos insaturados (ácido oleico) e esteróis (sitosterol), estando diretamente correlacionados aos baixos níveis de LDL e a diminuição da incidência de doenças cardiovasculares (BEZERRA & SILVA, 2016). Nesse sentido, Carvalho et al. (2013b) relataram que ratos Wistar alimentados com pupunha antes e após a lactação apresentaram aumento do colesterol HDL, além de redução do colesterol total, peso corporal e triglicerídeos.

Apesar de apresentar uma composição nutricional rica, a pupunheira não se limita apenas no uso de seu fruto, a mesma pode ser aproveitada integralmente. Por exemplo, a palmeira é empregada na área da arquitetura como elemento de paisagismo; sua raiz apresenta diversas atividades vermicidas; o tronco como madeira para construção de casas, arcos, flechas e varas de pescar; as flores, depois de caírem, como tempero para culinária; suas folhas, nas coberturas para habitações, cestas e demais objetos (GRAEFE et al., 2013).

A espécie *Astrocaryum vulgare* Mart., de acordo com a classificação botânica, pertence ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, ordem *Arecales*, família *Arecaceae*, e gênero *Astrocaryum* (OLIVEIRA et al., 2018). A família *Arecaceae* inclui cerca de 2.600 espécies de palmeiras pertencentes a 181 gêneros, que crescem principalmente em regiões tropicais e subtropicais ao redor do mundo. As variedades de palmeiras produzem frutas comestíveis, como nozes, frutas vermelhas e frutas de caroço, que podem ter texturas diferentes. Existem 480 espécies nativas na flora brasileira, distribuídas em três dos seis biomas nacionais, de importância sócio-etnobotânica e ecológica para os povos indígenas, caboclas, ribeirinhos e residentes do bioma (NERI-NUMA et al., 2018; EMILIO et al., 2019; DE SOUZA et al., 2020) functional and economic characteristics comparable to temperate berries. They constitute an important innovation domain for the food, pharmaceutical and cosmetic industries, due to their positive health effects and market potential. The main objective of this review was to describe the physicochemical, nutritional and biological aspects of six Brazilian small native wild fruits from the Arecaceae (açai, buriti and pupunha).

No Brasil, é conhecido por uma diversidade de nomes como tucumã-arara, tucumã-piranga, tucumã-piririca, tucumã-uassurana, tucum-assu, tucum-bravo, tucum-da-serra, tucum-do-matto e tucum-purupuru; o Tucumã é um fruto nativo da Amazônia legal brasileira (SAGRILLO et al., 2015), sendo a espécie *vulgare* encontrada principalmente no estado do Pará (OLIVEIRA et al., 2018; MATOS et al., 2019).

As palmeiras são grandes, com até 25 metros de altura, crescem ao longo do rio e seus troncos são espinhosos. (SHANLEY et al., 2012; SAGRILLO et al., 2015). Como a maioria dos frutos exclusivos da Amazônia, o período de frutificação do tucumã é de janeiro a abril. Em média, cada árvore de tucumzeiro pode produzir de 2 a 5 cachos de frutos por ano, contendo 200 a 400 frutos, e cada cacho pesa de 10 a 30 Kg. (SHANLEY et al., 2012).

O fruto pertence ao tipo de drupa, cuja cor da casca e da polpa variam do amarelo ao laranja escuro, existindo apenas uma semente por unidade de fruto. (SAGRILLO et al., 2015; FERREIRA et al., 2021a). O fruto tem diâmetro de 5 a 6 cm e massa de 70 a 75 gramas, sendo utilizado principalmente na confecção de pratos regionais e consumido *in natura* (MATOS et al., 2019).

A extração sustentável dos frutos tem grande potencial para promover o desenvolvimento da região amazônica e se tornar uma fonte de renda para os moradores locais. (FERREIRA et al., 2021a). A comercialização das frutas é realizada principalmente em feiras públicas em cidades da região amazônica, e a polpa é utilizada como matéria-prima principal para a formulação de pratos como sanduíches, tapiocas, pães, cremes e sorvetes (KIELING et al., 2019; FERREIRA et al., 2021a; SILVA et al., 2021b).

No entanto, a indústria não utiliza apenas a polpa, mas as cascas e sementes anteriormente descartadas também são utilizadas como subprodutos (FERREIRA et al., 2021b). A extração do óleo sempre foi um dos usos, pois a existência de compostos biologicamente ativos comprova o grande potencial desta fruta (IBIAPINA et al., 2021; FERREIRA et al., 2021b).

Segundo a literatura, o tucumã possui um mesocarpo fibroso que fornece alto teor de nutrientes. Esta fruta possui baixo teor de umidade, alto teor de fibras e alto teor de calorias. Mas entre os nutrientes, o teor de lipídios é o mais significativo, chegando a mais de

40%. O óleo tem se mostrado rico em uma variedade de carotenoides, o que tem chamado a atenção da comunidade científica, que iniciou pesquisas para ampliar o conhecimento acadêmico sobre a fruta. (SAGRILLO et al., 2015; MATOS et al., 2019; ROSSATO et al., 2019; FERREIRA et al., 2021b; IBIAPINA et al., 2021; SANTOS et al., 2021; SILVA et al., 2021a).

As frutas endêmicas da Amazônia legal têm sido objeto de inúmeros estudos devido à incidência de compostos bioativos de antioxidantes com características terapêuticas e funcionais. Entre os compostos podemos mencionar carotenoides, Vitamina C, vitamina A, fenólicos, pigmentos, ácidos graxos e outros compostos (Tabela 1) (IBIAPINA et al., 2021; MIRANDA et al., 2021; SOUSA et al., 2021).

Tabela 1. Compostos bioativos de frutos da Amazônia legal.

Fruto	Composto	Autor
Camu-camu (<i>Myrciaria dúbia</i>)	Ácidos graxos	Justi et al. (2000)
	Ácidos orgânicos	Alves et al. (2002)
Uxi (Endopleura uchi)	Ácidos orgânicos	Marx et al. (2002)
	Ácidos graxos	Berto et al. (2015)
	Aminoácidos	Marx et al. (2002)
Pedra-ume caá (<i>Eugenia punicifolia</i>)	Óleos essenciais	De Albuquerque et al. (2019)
Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	Tocoferóis	Rodrigues et al., 2010
	Ácido oleico	Jaramillo-Vivanco et al., 2022; Serra et al., 2019
	Ácido palmítico	Serra et al., 2019
Pataua (<i>Oenocarpus bataua</i>)	Tocoferóis	Agostini-Costa, 2018
	Ácido oleico	Serra et al., 2019
	Ácido palmítico	Serra et al., 2019
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Ácidos graxos	Rufino et al., 2011
Araçá-pera (<i>Psidium acutangulum</i>)	Ácidos orgânicos	Ramos et al., 2015
	Ácidos graxos	
Biribá (<i>Annona mucosa</i>)	Ácido linoleico	Berto et al., 2015
	Ácido α -linolênico	Berto et al., 2015
Rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>)	Álcoois alifáticos	Araújo et al., 2021
	Compostos carbonílicos	Araújo et al., 2021

Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Leucina	Yuyama et al., 2003; Araújo et al., 2021
	Valina	Yuyama et al., 2003; Araújo et al., 2021
	Triptofano	Yuyama et al., 2003; Araújo et al., 2021
	Ácido oleico	Santos et al., 2020
	Ácido palmítico	Santos et al., 2020
	Ácido linoleico	Santos et al., 2020
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	Ácidos graxos insaturados	Sagrillo et al., 2015
	Ácidos graxos saturados	Sagrillo et al., 2015

Os carotenóides, presentes em inúmeras plantas, já foram identificados e caracterizados mais de 700 carotenoides diferentes (Tabela 2). A estrutura marjoritária é formada por um esqueleto tetraterpenico (C40) simétrico característico, é possível encontrar compostos com esqueletos de 30, 45 e 50 carbonos. São conhecidos por fornecer pigmentação para os sistemas biológicos, apresentando coloração vermelha, laranja ou amarela, à exceção dos carotenoides fitoteno e fitoflueno que são incolores (MESQUITA et al., 2017; SANTOS-SÁNCHEZ et al., 2019).

Tabela 2. Carotenoides em frutos da Amazônia legal

Fruto	Composto	Autor
Araça-boi (<i>Eugenia stipitata</i>)	Luteína	Berni et al. (2019)
	Zeaxantina	Berni et al. (2019)
	all-trans- β -carotene	Berni et al. (2019)
Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	all-trans- β -carotene	Schiassi et al., 2018; Wen et al., 2017
	13 - cis - β - caroteno	Schiassi et al., 2018; Wen et al., 2017
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Antocianinas	Song et al., 2021
Rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>)	Antocianinas	Sun et al., 2011

Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	β -caroteno	Santos et al., 2015; Matos et al., 2019
	γ -caroteno	Santos et al., 2015; Matos et al., 2019
	Licopeno	Santos et al., 2015; Matos et al., 2019
	Luteína	Santos et al., 2015; Matos et al., 2019
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	β -caroteno	Sagrillo et al., 2015; Matos et al., 2019

As vitaminas, que são micronutrientes essenciais para o bem do corpo humano, não podem ser sintetizadas naturalmente pelo organismo, portanto, para realizar muitas atividades metabólicas, devem ser obtidas através da alimentação. Vários frutos amazônicos tem se destacado como fontes de vitamina C, vitamina A e B12 que estimulam o sistema imunológico humano (Tabela 3) (DHALARIA et al., 2020; SOUSA et al., 2021; SOUZA, de et al., 2020) phytochemical compounds and biological properties of 4 fruits commonly consumed by people living in Amazon region, namely Biribá (*Rollinia mucosa* Jacq..

Tabela 3. Vitaminas em frutos da Amazônia legal

Fruto	Composto	Autor
Araça-boi (<i>Eugenia stipitata</i>)	Ácido ascórbico	Neves et al. (2015)
Camu-camu -	Ácido ascórbico	Castro et al. (2015); Rufino et al. (2010)
	Vitamina A	Zanatta e Mercadante (2007)
Uxi (<i>Endopleura uchi</i>)	Ácido ascórbico	Neves et al. (2015)
	α -Tocoferol	Marx et al. (2002)
Madroño (<i>Garcinia madruno</i>)	Ácido ascórbico	Osorio et al., 2013; Carrillo-Hormaza et al., 2016
	Vitamina A	Osorio et al., 2013; Carrillo-Hormaza et al., 2016
Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	Ácido ascórbico	Abreu-Naranjo et al., 2020
	α -tocoferol	Serra et al., 2019
	β - tocoferol	Serra et al., 2019
	δ - tocoferol	Serra et al., 2019
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Ácido ascórbico	Rufino et al., 2009

Araçá-pera (<i>Psidium acutangulum</i>)	Ácido ascórbico	Ramos et al., 2015
Biribá (<i>Annona mucosa</i>)	Ácido ascórbico	Araújo et al., 2021
Rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>)	Ácido ascórbico	Araújo et al., 2021
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	Ácido ascórbico	Araújo et al., 2021
	Vitamina A	Araújo et al., 2021; Matos et al., 2019
	α -tocoferol	Radice et al., 2014
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	Ácido ascórbico	Araújo et al., 2021
	Vitamina A	De Rosso e Mercadante, 2007
	Vitamina B2	Sagrillo et al., 2015

Os compostos fenólicos compõem um grupo vasto de substâncias químicas com diversas estruturas e atividades biológicas diversas, abrangendo mais de 8.000 compostos distintos que são partes importantes da dieta humana (Tabela 4). Em plantas, seu papel é atuar nos mecanismos de defesa, defendendo-as do estresse por patógenos e predadores, também tendo a capacidade de atuar como doadores de hidrogênio ou para metais quelantes, como ferro e cobre, oxidando lipoproteínas de baixa densidade. Conferindo assim, ao composto fenólico, ação sobre doenças neurodegenerativas, como câncer e leucemia (SANTOS-SÁNCHEZ et al., 2019; DHALARIA et al., 2020) including almost 10,000 different compounds with a common chemical structure consisting of two aromatic rings, joined by a three-carbon chain generally forming a heterocyclic ring (C6-C3-C6).

Tabela 4. Compostos fenólicos e antioxidantes em frutos da Amazônia legal

Fruto	Composto	Autor
Camu-camu (<i>Myrciaria dúbia</i>)	Polifenóis	Fracassetti et al. (2013); Fujita et al. (2013)
	l-methylmalate	Akachi et al. (2010)
Pedra-ume caá (<i>Eugenia punicifolia</i>)	Ácido gálico	Ramos et al., 2019
	Miricetina	Ramos et al., 2019
	Ácido elágico	Ramos et al., 2019
	Quercetina	Ramos et al., 2019
	Kaempferol	Ramos et al., 2019
Madroño (<i>Garcinia madruno</i>)	Biflavonoides	Ramirez et al., 2019

Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>)	Ácido cafeico	Agostini-Costa, 2018; Bataglion et al., 2014
	Ácido clorogênico	Agostini-Costa, 2018; Bataglion et al., 2014
	Ácido protocatecuico	Agostini-Costa, 2018; Bataglion et al., 2014
	Catequina	Agostini-Costa, 2018; Bataglion et al., 2014
	Epicatequina	Agostini-Costa, 2018; Bataglion et al., 2014
	Miricetina	Agostini-Costa, 2018; Bataglion et al., 2014
Pataua (<i>Oenocarpus bataua</i>)	Ácido gálico	Rezaire et al., 2014; Tauchen et al., 2016
	Ácido sinápico	Rezaire et al., 2014; Tauchen et al., 2016
	Luteolina	Rezaire et al., 2014; Tauchen et al., 2016
	Kaempferol	Rezaire et al., 2014; Tauchen et al., 2016
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i>)	Polifenóis	Rufino et al., 2011
Biribá (<i>Annona mucosa</i>)	Ácido ferúlico	Araújo et al., 2021
Rambutan (<i>Nephelium lappaceum</i>)	Geraniíña	Zhuang et al., 2017
	Flavonoides	Zhuang et al., 2017
	Corilagina,	Zhuang et al., 2017
	Procianidina,	Zhuang et al., 2017
	Ácido gálico	Zhuang et al., 2017
	Ácido elágico	Zhuang et al., 2017
Pupunha (<i>Bactris gasipaes</i>)	β-caroteno	Quesada et al., 2011
	Flavonoides	Santos et al., 2015
Tucumã (<i>Astrocaryum vulgare</i>)	Rutina	Sagrillo et al., 2015; Silva et al., 2018
	Catequina	Sagrillo et al., 2015; Silva et al., 2018
	Quercetina	Sagrillo et al., 2015; Silva et al., 2018
	Ácido clorogênico	Sagrillo et al., 2015; Cabral et al., 2020
	Ácido gálico	Sagrillo et al., 2015; Cabral et al., 2020
	β-caroteno	Sagrillo et al., 2015

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A literatura aponta que os frutos amazônicos possuem um potencial nutritivo promissor, maiores até que outros frutos utilizados pela população. Em relação aos compostos bioativos, as polpas desses frutos podem ser considerados como possíveis fontes de vitamina C, carotenoides, compostos fenólicos, como ácido clorogênico, ácido gálico e catequina, e flavonoides, como miricitina, quercetina e rutina, o que os tornam matérias-primas com alto potencial tecnológico, adequado para a indústria alimentícia, farmacológica e de cosméticos, tornando a inserção desses frutos vantajosa tanto para população regional. Não obstante, os frutos Amazônicos mostram-se fontes importantes de minerais, como zinco, ferro, cobre, magnésio, manganês e potássio, além de apresentarem concentrações importantes de ácidos orgânicos como ácido cítrico, ácido málico e ácido tartárico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGOSTINI-COSTA, T. S. Bioactive compounds and health benefits of some palm species traditionally used in Africa and the Americas—a review. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 224, p. 202-229, 2018.

ALVES, R., FILGUEIRAS, H., MOURA, C., ARAUJO, N. AND ALMEIDA, A. Camu camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh): a rich natural source of vitamin C. **Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture**, 2002, p. 11-13.

ARAUJO, N. M. P., ARRUDA, H. S., MARQUES, D. R. P., DE OLIVEIRA, W. Q., PEREIRA, G. A., & PASTORE, G. M. Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review. **Food Research International**, v. 147, p. 110520, 2021.

BERNI, P., CAMPOLI, S. S., NEGRI, T. C., DE TOLEDO, N. M., & CAN- NIATTI-BRAZACA, S. G.. Non-conventional Tropical Fruits: Characterization, antioxidant Potential and carotenoid bioaccessibility. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 74, n. 1, p. 141-148, 2019.

BERTO, A., DA SILVA, A. F., VISENTAINER, J. V., MATSUSHITA, M., & DE SOUZA, N. E. Proximate compositions, mineral contents and fatty acid compositions of native Amazonian fruits. **Food Research International**, v. 77, p. 441-449, 2015.

CARVALHO, A. V., BECKMAN, J. C., MACIEL, R. D. A., & DE FARIAS NETO, J. T. Physical and chemical characteristics of peach palm fruits in the state of Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 3, p. 763-768, setembro 2013.

CARVALHO-SILVA, L. B.; OLIVEIRA, M. DO V.; GONTIJO, V. S.; OLIVEIRA, W. F.; DEROGIS, P. B. M. C.; STRINGHETA, P. C.; NAGEM, T. J.; BRIGAGÃO, M. R. P. L.; SANTOS, M. H. DOS. Antioxidant, cytotoxic and antimutagenic activities of 7-epi-clusianone obtained from pericarp of *Garcinia brasiliensis*. **Food Research International**, v. 48, n. 1, p. 180-186, 2012.

CASTRO, A. P., DE MATTOS, A. C. A., PEREIRA, N. A., ANCHIETA, N. F., SILVA, M. S., DIAS, D. F., ... & MARQUES, M. J. Potent schistosomicidal constituents from *Garcinia brasiliensis*. **Planta medica**, v. 81, n. 09, p. 733-741, 2015.

CHISTÉ, R. C., & FERNANDES, E. Bioactive compounds from Amazonian fruits and their antioxidant properties. **Natural Bioactive Compounds from Fruits and Vegetables as Health Promoters-Part I. Bentham Science Publishers**, (pp. 244-264), 2016.

CUI, J., HU, W., CAI, Z., LIU, Y., LI, S., TAO, W., & XIANG, H. New medicinal properties of mangostins: analgesic activity and pharmacological characterization of active ingredients from the fruit hull of *Garcinia mangostana* L. **Pharmacology Biochemistry and Behavior**, v. 95, n. 2, p. 166-172, 2010.

DA COSTA, R. D. S., DA CRUZ RODRIGUES, A. M., LAURINDO, J. B., & DA SILVA, L. H. M. Development of dehydrated products from peach palm-tucupi blends with edible film characteristics using refractive window. **Journal of food science and technology**, v. 56, n. 2, p. 560-570, 2019

DE ALBUQUERQUE, Y.A.P., SILVA, J.R., MACIEL, P.M.C. AND SARAIVA, R.A. Phytochemical characterization and allelopathic potential of the *Eugenia punicifolia* (Kunth) DC (Myrtaceae) extract on the germi-

nation and initial development of *Lactuca sativa* (Asteraceae). In 70th National Botany Congress/36° Northeast Botany, 2019.

DE SOUZA, F. G., DE ARAUJO, F. F., DE PAULO FARIAS, D., ZANOTTO, A. W., NERI-NUMA, I. A., & PASTORE, G. M. Brazilian fruits of Arecaeae family: An overview of some representatives with promising food, therapeutic and industrial applications. **Food Research International**, v. 138, n. August, 2020.

DE SOUZA, TC, dos Santos Souza, E., Dousseau, S., de Castro, EM, & Magalhães, PC Seedlings of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) subjected to root flooding: Physiological, morphoanatomical, and antioxidant responses to the stress. **Aquatic Botany**, v. 111, p. 43–49, 2013.

DHALARIA, R.; VERMA, R.; KUMAR, D.; PURI, S.; TAPWAL, A.; KUMAR, V.; NEPOVIMOVA, E.; KUČA, K. Bioactive compounds of edible fruits with their anti-aging properties: A comprehensive review to prolong human life. **Antioxidants**, v. 9, n. 11, p. 1123, 2020.

EMILIO, T., LAMARQUE, LJ, TORRES-RUIZ, JM, KING, A., CHARRIER, G., BURLETT, R., ... & DELZON, S. Embolism resistance in petioles and leaflets of palms. **Annals of botany**, v. 124, n. 7, p. 1173–1183, 2019.

FERREIRA DE OLIVEIRA, S.; PEREIRA DE MOURA NETO, J.; RAMOS DA SILVA, K. E. Uma revisão sobre a morfoanatomia e as propriedades farmacológicas das espécies *Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 3, p. 18–28, 2018.

FERREIRA, L. M. D. M. C., PEREIRA, R. R., CARVALHO, F. B. D., SILVA SANTOS, A., RIBEIRO-COSTA, R. M., & CARRÉRA SILVA JÚNIOR, J. O. Green Extraction by Ultrasound, Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of the Tucuma Coproduct (*Astrocaryum vulgare* Mart.) Almonds. **Biomolecules**, v. 11, n. 4, p. 545, 2021a.

FERREIRA, M. J., MOTA, M. F., MARIANO, R. G., & FREITAS, S. P. Evaluation of liquid-liquid extraction to reducing the acidity index of the tucuma (*Astrocaryum vulgare* Mart.) pulp oil. **Separation and Purification Technology**, v. 257, p. 117894, 2021b.

FIGUEIREDO, S. A.; VILELA, F. M. P.; SILVA, C. A. DA; CUNHA, T. M.; SANTOS, M. H. DOS; FONSECA, M. J. V. In vitro and in vivo photopro-

TECTIVE/PHOTOCHEMOPREVENTIVE POTENTIAL OF *Garcinia brasiliensis* EPICARP EXTRACT. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: **Biology***, v. 131, p. 65–73, 2014.

GONTIJO, V. S.; SOUZA, T. C. DE; ROSA, I. A.; SOARES, M. G.; SILVA, M. A. DA; VILEGAS, W.; VIEGAS, C.; SANTOS, M. H. DOS. Isolation and evaluation of the antioxidant activity of phenolic constituents of the *Garcinia brasiliensis* epicarp. ***Food Chemistry***, v. 132, n. 3, p. 1230–1235, 2012.

GRAEFE, S., DUFOUR, D., VAN ZONNEVELD, M., RODRIGUEZ, F., & GONZALEZ, A. Peach palm (*Bactris gasipaes*) in tropical Latin America: implications for biodiversity conservation, natural resource management and human nutrition. ***Biodiversity and conservation***, v. 22, n. 2, p. 269–300, 2013.

HU, Y.; ZHANG, L.; ZHANG, Y.; XIONG, H.; WANG, F.; WANG, Y., & LU, Z. Effects of starch and gelatin encapsulated vitamin A on growth performance, immune status and antioxidant capacity in weaned piglets. ***Animal Nutrition***, v. 6, n. 2, p. 130–133, 2020.

IBIAPINA, A., GUALBERTO, L. D. S., DIAS, B. B., FREITAS, B. C. B., MARTINS, G. A. D. S., & MELO FILHO, A. A. Essential and fixed oils from Amazonian fruits: proprieties and applications. ***Critical Reviews in Food Science and Nutrition***, p. 1–13, 2021.

JARAMILLO-VIVANCO, T., BALSLEV, H., MONTÚFAR, R., CÁMARA, R. M., GIAMPIERI, F., BATTINO, M., ... & ALVAREZ-SUAREZ, J. M.. Three Amazonian palms as underestimated and little-known sources of nutrients, bioactive compounds and edible insects. ***Food Chemistry***, v. 372, p. 131273, 2022.

JUSTI, K. C., VISENTAINER, J. V., EVELÁZIO DE SOUZA, N., & MATSU-SHITA, M. Nutritional composition and vitamin C stability in stored camu-camu (*Myrciaria dubia*) pulp. ***Archivos latinoamericanos de nutrición***, v. 50, n. 4, p. 405–408, 2000.

KIELING, A.C.; SANTANA, G.P.; DOS SANTOS, M.C.; JAQTINON, H.C.C.; MONTEIRO, C.C.P. Cadeia do tucumã comercializado em Manaus-am. ***Scientia Amazonia***, v. 8, n.2, B1–B9, 2019.

LUNA-GUEVARA, M. L., LUNA-GUEVARA, J. J., HERNÁNDEZ-CARRANZA, P., RUÍZ-ESPINOSA, H., & OCHOA-VELASCO, C. E. Phenolic compounds: A good choice against chronic degenerative diseases. In **Studies in natural products chemistry**, 59 (2018), pp.79-108.

MARIUTTI, L.R.B.; RODRIGUES, E.; CHISTÉ, R.C.; FERNANDES, E.; MERCADATE, A.Z.; FREITAS, S. P. The Amazonian fruit *Byrsonima crassifolia* effectively scavenges reactive oxygen and nitrogen species and protects human erythrocytes against oxidative damage. **Food Research International**. 2014, 64, 618-625.

MARX, F., ANDRADE, E. A., MARIA DAS GRAÇAS, B. Z., & MAIA, J. S. Studies of edible Amazonian plants. Part 5: Chemical characterisation of Amazonian *Endopleura uchi* fruits. **European Food Research and Technology**, v. 214, n. 4, p. 331-334, 2002.

MATOS, K. A. N., LIMA, D. P., BARBOSA, A. P. P., MERCADANTE, A. Z., & CHISTE, R. C. Peels of tucumã (*Astrocaryum vulgare*) and peach palm (*Bactris gasipaes*) are by-products classified as very high carotenoid sources. **Food chemistry**, v. 272, p. 216-221, 2019.

MELO, A. M. DE; ALMEIDA, F. L. C.; CAVALCANTE, A. M. DE M.; IKEDA, M.; BARBI, R. C. T.; COSTA, B. P.; RIBANI, R. H. *Garcinia brasiliensis* fruits and its by-products: Antioxidant activity, health effects and future food industry trends – A bibliometric review. **Trends in Food Science and Technology**, v. 112, n. February, p. 325–335, 2021a.

MESQUITA, S. D. S.; TEIXEIRA, C. M. L. L.; SERVULO, E. F. C. Carotenoids: Properties, applications and market. **Revista Virtual de Quimica**, v. 9, n. 2, p. 672–688, 2017.

MINISTERIO DO MEIO AMBIENTE. **Biodiversidade Brasileira**. [publicação online]; 2019, [acesso em 10 de maio de 2023]. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-brasileira>

MIRANDA, P. H. S.; SANTOS, A. C. DOS; FREITAS, B. C. B. DE; MARTINS, G. A. DE S.; VILAS BOAS, E. V. DE B.; DAMIANI, C. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, v. 113, p. 335–345, 2021.

MOREIRA, M. E. C., NATAL, D. I. G., TOLEDO, R. C. L., RAMIREZ, N. M., RIBEIRO, S. M. R., dos Anjos Benjamin, L., ... & Martino, H. S. D. Bacupari peel extracts (*Garcinia brasiliensis*) reduce high-fat diet-induced obesity in rats. **Journal of Functional Foods**, v. 29, p. 143-153, 2017.

MOREIRA-ARAÚJO, R. S. D. R., BARROS, N. V. D. A., PORTO, R. G. C. L., BRANDÃO, A. D. C. A. S., LIMA, A. D., & FETT, R. Bioactive compounds and antioxidant activity three fruitspecies from the Brazilian Cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 3, 2018.

NERI-NUMA, I. A., SANCHO, R. A. S., PEREIRA, A. P. A., & PASTORE, G. M. Small Brazilian wild fruits: Nutrients, bioactive compounds, health-promotion properties and commercial interest. **Food Research International**, v. 103, p. 345-360, 2018.

OLIVEIRA, S. F., NETO, J. P. M., & SILVA, K. E. R. Uma revisão sobre a morfoanatomia e as propriedades farmacológicas das espécies *Astrocaryum aculeatum* Meyer e *Astrocaryum vulgare* Mart. **Scientia Amazonia**, v. 7, n. 3, p. 18-28, 2018.

PIRES, M. B., AMANTE, E. R., DE OLIVEIRA PETKOWICZ, C. L., ESMERINO, E. A., DA CRUZ RODRIGUES, A. M., & DA SILVA, L. H. M. Impact of extraction methods and genotypes on the properties of starch from peach palm (*Bactris gasipaes* Kunth) fruits. **LWT**, p. 111983, 2021.

RAMOS, A. S., SOUZA, R. O., BOLETI, A. P. D. A., BRUGINSKI, E. R., LIMA, E. S., CAMPOS, F. R., & MACHADO, M. B.. Chemical characterization and antioxidant capacity of the araçá-pera (*Psidium acutangulum*): An exotic Amazon fruit. **Food Research International**, v. 75, p. 315-327, 2015.

ROCHA, A. P. Métodos para superação da dormência em sementes de *Garcinia gardneriana* (Planch. & Triana) Zappi. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 2, p. 505-514, abr.- jun., 2018^a.

RODRIGUES, A. M., DARNET, S., & SILVA, L. H. Fatty acid profiles and tocopherol contents of buriti (*Mauritia flexuosa*), patawa (*Oenocarpus bataua*), tucuma (*Astrocaryum vulgare*), mari (*Poraqueiba piraensis*) and inaja (*Maximiliana maripa*) fruits. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 21, p. 2000-2004, 2010.

RODRIGUES, D. A., DE SOUSA, B. L., DA SILVA, J. G., PEREIRA, G. A., BOUSADA, G. M., DA SILVA, A. A., ... & DOS SANTOS, M. H. Phytotoxic property of metabolites isolated from *Garcinia gardneriana*. **Computational Biology and Chemistry**, v. 92, p. 107460, 2021.

ROSSATO, A., DA SILVA SILVEIRA, L., LOPES, L. Q. S., DE SOUSA FILHO, W. P., SCHAFFER, L. F., SANTOS, R. C. V., & SAGRILLO, M. R. Evaluation in vitro of antimicrobial activity of tucumã oil (*Astrocaryum vulgare*). **Archives in Biosciences & Health**, v. 1, n. 1, p. 99-112, 2019.

RUFINO, M.M.S., PÉREZ-JIMÉNEZ, J., ARRANZ, S., ALVES, R. E., DE BRITO, E. S., OLIVEIRA, M. S., & SAURA-CALIXTO, F. Açaí (*Euterpe oleraceae*)'BRS Pará': A tropical fruit source of antioxidant dietary fiber and high antioxidant capacity oil. **Food Research International**, v. 44, n. 7, p. 2100-2106, 2011.

SAGRILLO, M. R., GARCIA, L. F. M., DE SOUZA FILHO, O. C., DUARTE, M. M. M. F., RIBEIRO, E. E., CADONÁ, F. C., DA CRUZ, I. B. M. Tucuma fruit extracts (*Astrocaryum aculeatum* Meyer) decrease cytotoxic effects of hydrogen peroxide on human lymphocytes. **Food chemistry**, v. 173, p. 741-748, 2015.

SANTA-CECÍLIA, F. V.; VILELA, F. C.; ROCHA, C. Q. DA; DIAS, D. F.; CAVALCANTE, G. P.; FREITAS, L. A. S.; SANTOS, M. H. DOS; GIUSTI-PAIVA, A. Anti-inflammatory and antinociceptive effects of *Garcinia brasiliensis*. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 133, n. 2, p. 467-473, 2011.

SANTA-CECÍLIA, F. V., SANTOS, G. B., FUZISSAKI, C. N., DEROGIS, P. B., FREITAS, L. A., GONTIJO, V. S., ... & SANTOS, M. H. D. 7-epiclusianone, the natural prenylated benzophenone, inhibits superoxide anions in the neutrophil respiratory burst. **Journal of medicinal food**, v. 15, n. 2, p. 200-205, 2012.

SANTOS, M. D. F. G., MAMEDE, R. V. S., RUFINO, M. D. S. M., DE BRITO, E. S., & ALVES, R. E. Amazonian native palm fruits as sources of antioxidant bioactive compounds. **Antioxidants**, v. 4, n. 3, p. 591-602, 2015.

SANTOS, O. V. D., SOARES, S. D., DIAS, P. C. S., DUARTE, S. D. P. D. A., SANTOS, M. P. L. D., & NASCIMENTO, F. D. C. A. D. Chromatographic profile and bioactive compounds found in the composition of pupu-

nha oil (*Bactris gasipaes* Kunth): implications for human health. **Revista de Nutrição**, v. 33, 2020.

SANTOS, P. D. F., RUBIO, F. T. V., DE CARVALHO BALIEIRO, J. C., THOMAZINI, M., & FAVARO-TRINDADE, C. S. Application of spray drying for production of microparticles containing the carotenoid-rich tucumã oil (*Astrocaryum vulgare* Mart.). **LWT**, v. 143, p. 111106, 2021.

SANTOS-SÁNCHEZ, N. F., SALAS-CORONADO, R., VILLANUEVA-CAÑONGO, C., HERNÁNDEZ-CARLOS, B. Antioxidant compounds and their antioxidant mechanism (pp. 1-28). **Antioxidants**, 2019.

SERRA, J. L., DA CRUZ RODRIGUES, A. M., DE FREITAS, R. A., DE ALMEIDA MEIRELLES, A. J., DARNET, S. H., & DA SILVA, L. H. M. Alternative sources of oils and fats from Amazonian plants: Fatty acids, methyl tocopherols, total carotenoids and chemical composition. **Food research international**, v. 116, p. 12-19, 2019.

SHANLEY, P., CYMERYS, M., SERRA, M., & MEDINA, G. **Frutales y plantas útiles en la vida amazónica**. FAO/CIFOR/PPI, 2012.

SILVA, A. J. B. DA; SEVALHO, E. D. S.; MIRANDA, I. P. DE A. Potencial das palmeiras nativas da Amazônia Brasileira para a bioeconomia: análise em rede da produção científica e tecnológica. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 1020–1046, 2021b.

SILVA, AR, PINELA, J., GARCÍA, PA, FERREIRA, IC, & BARROS, L. Optimised heat/ultrasound-assisted extraction of tannins by response surface methodology. **Separation and Purification Technology**, v. 276, p. 119358, 2021a.

SOUSA, H. M. S.; LEAL, G. F.; DAMIANI, C.; BORGES, S. V.; FREITAS, B. C.; MARTINS, G. A. S. Some wild fruits from amazon biodiversity: composition, bioactive compounds, and characteristics. **Food Research**, v. 5, n. 5, p. 17-32, 2021.

SOUZA, F. G. DE; ARAÚJO, F. F. DE; PAULO FARIAS, D. DE; ZANOTTO, A. W.; NERI-NUMA, I. A.; PASTORE, G. M. Brazilian fruits of Arecaceae family: An overview of some representatives with promising food, therapeutic and industrial applications. **Food Research International**, v. 138, p. 109690, 2020.

SOUZA, T. C. DE; SOUZA, E. DOS S.; DOUSSEAU, S.; CASTRO, E. M. DE; MAGALHÃES, P. C. Seedlings of *Garcinia brasiliensis* (Clusiaceae) subjected to root flooding: Physiological, morphoanatomical, and antioxidant responses to the stress. **Aquatic Botany**, v. 111, p. 43–49, 2013.

VALENCIA, G. A., MORAES, I. C. F., LOURENÇO, R. V., BITTANTE, A. M. Q. B., & SOBRAL, P. J. D. A. Physicochemical, morphological, and functional properties of flour and starch from peach palm (*Bactris gasipaes* K.) fruit. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 1-2, p. 163-173, 2015.

YUYAMA, L. K., AGUIAR, J. P., YUYAMA, K., CLEMENT, C. R., MACEDO, S. H., FÁVARO, D. I., ... & VANNUCCHI, H. Chemical composition of the fruit mesocarp of three peach palm (*Bactris gasipaes*) populations grown in Central Amazonia, Brazil. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 54, n. 1, p. 49-56, 2003.

CAPÍTULO IX - MICROENCAPSULAÇÃO DE PIGMENTOS NATURAIS: UMA ABORDAGEM CIENTÍFICA

Lorrane Ribeiro de Souza*; Clarissa Damiani

* *Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campus Universitários de Palmas, Palmas, Tocantins. E-mail: lollaribeiros@gmail.com*

A cor é considerada o principal atributo organoléptico, quando se trata de aceitação e preferência de um alimento. O uso de aditivos em alimentos, com intuito de torná-lo atrativo, visualmente, é comum nas indústrias químicas e de alimentos, porém é sabido que os corantes artificiais acarretam potenciais efeitos nocivos para a saúde humana, existindo necessidade de substituição desses por corantes naturais (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018; FERREIRA et al., 2021).

A tendência mundial por produtos naturais e a preocupação com a segurança alimentar tem feito com que se deseje substituir ingredientes sintéticos por ingredientes naturais. Entre os principais pigmentos naturais de origem vegetal estão os carotenoides, clorofila, betalaínas e antocianinas encontrados em frutas e vegetais, e que desempenham papel importante na fotossíntese e fotoproteção (MIRANDA et al., 2021). Estes pigmentos são instáveis na presença de altas temperaturas, luz e oxigênio, demonstrando dificuldades em manter suas propriedades, quando submetidos em determinadas condições intrínsecas de variados produtos. Uma forma de aumentar essa estabilidade de armazenamento e uso em produtos alimentícios é por meio da microencapsulação, que tem a capacidade de aprisionar os compostos em cápsulas pequenas, alcançadas por diferentes técnicas (KANG et al., 2019).

O uso de ingredientes microencapsulados na indústria de alimentos está aumentando, sendo esta técnica usada para proteger os materiais ativos de condições adversas, apresentando mais vantagens quando usada com liberação controlada. Suas vantagens incluem materiais de embalagens estáveis, resposta de controle de oxidação, liberação de substâncias ativas de forma controlada, cobertura do gosto, cor ou cheiro indesejados, redução de toxicidade de substâncias ativas, prolongamento da vida útil e proteção dos compostos com

valor nutricional, uma vez que o material de parede ou encapsulante pode isolar total ou parcial o material ativo (PEREIRA et al., 2018). Diversas técnicas são empregadas para fazer a microencapsulação, como métodos físicos (secagem por pulverização e liofilização), métodos químicos (polimerização interfacial, complexação de inclusão molecular) e métodos físico-químicos (coacervação simples ou complexa e gelificação iônica) (SOUZA et al., 2018; TANG et al., 2022).

Vale ressaltar que um dos principais fatores que influenciam na eficiência dos compostos microencapsulados é o material de parede. Dentre os materiais mais comumente usados, em microcápsulas, estão os carboidratos (amido, dextrina, sacarose), celulose (carboximetilcelulose, acetilcelulose, metilcelulose, etilcelulose e nitrocelulose), lipídios (parafina, cera, ácido esteárico, ácido triestérico, monoglicerídeos, óleos, gorduras hidrogenadas), proteínas (glúten, caseína, proteína de soro de leite isolada, gelatina e albumina) e gomas (alginato de sódio, carragenina e goma arábica etc.) (SANTOS et al., 2021). Janiszewska-Turak et al., (2017), explicam que as etapas de seleção de agentes encapsulantes incluem sua não reatividade com o material a ser encapsulado, suas propriedades físicas e químicas, como massa molar, solubilidade e porosidade, o método final usado para produzir partículas e a aplicação final desejada.

Além desses fatores, algumas propriedades desejáveis do material de revestimento são descritas, incluindo baixa viscosidade em altas concentrações, fácil manuseio durante a microencapsulação, baixa absorção de umidade e capacidade de ser bem incorporado no material a ser encapsulado para evitar sua perda e proteger a embalagem de materiais de ambientes desfavoráveis (SANTOS et al., 2021). Portanto mais estudos sobre essas tecnologias são necessários. Esta revisão tem como objetivo apresentar um contexto geral sobre os temas microencapsulação de pigmentos naturais destacando suas principais conclusões. Foi realizada uma compilação de dados a partir de pesquisas eletrônicas em bases científicas internacionais (Science, Scholar, Scielo, PubMed, Scopus e ACS Publications). Os termos utilizados na busca foram: Pigmentos naturais, Microencapsulação, Métodos de encapsulação, Agente carreador.

Pigmentos naturais

As indústrias alimentícias fazem o uso de corantes sintéticos e naturais para compensar a perda da cor no processamento de diversos alimentos, pois a aparência dos alimentos é uma das principais características que atraem os consumidores (PINHO et al., 2022). Os pigmentos sintéticos possuem ampla utilização nas indústrias de alimentos, porém seu uso é restrito, devido aos efeitos nocivos que causam riscos à saúde humana. Diante desta afirmação, o grande desafio da comunidade científica é encontrar fontes de pigmentos naturais que sirvam como alternativa viável para substituir esses corantes sintéticos (RORIZ et al., 2017).

Os pigmentos naturais são os mais preferíveis pelas indústrias e consumidores, extraídos de plantas, insetos, minerais e, também, sintetizados por microrganismos. Dentre esses pigmentos destaca-se os carotenóides, uma classe de compostos que conferem a coloração amarelo-laranja-vermelho nos alimentos. São solúveis em água, lipídeos e solventes orgânicos e desempenham o papel de agente antioxidante e anti-angiogênico, além de fornecer proteção contra radicais livres (CAMPO et al., 2019). A existência de carotenóides na natureza é muito abrangente, podendo ser encontrados em diversos tipos de seres vivos (microrganismos a animais), possuindo estrutura tetraterpenos (C₄₀), formados por unidades de isopreno, pirofato de isopentenila (IPP) e seus isômeros de dimetilalil difosfato (DMAPP), contendo cinco átomos de carbono (C₅) (NORCINO et al., 2022; SHARMA et al., 2021).

Antocianinas são polifenóis de baixo peso molecular, encontrados em várias espécies de plantas e em vários tecidos vegetais, sendo os responsáveis por verificar a pigmentação, ajudando a atrair polinizadores e dispersores de sementes (TAO et al., 2017). Algumas folhas, caules e raízes das plantas podem variar do vermelho brilhante ao roxo/azul. Esses pigmentos são compostos fenólicos pertencentes às categorias de flavonoides, que são um grupo de pigmentos naturais amplamente distribuídos no reino vegetal, sendo composto solúvel em água que é altamente instável em altas temperaturas. É caracterizada por um núcleo ônio amarelo básico (cátion 2-fenilbenzopirano), consistindo de dois anéis aromáticos conectado por uma unidade de três carbonos e condensado por oxigênio (SAKULNARMRAT et

al., 2021). A molécula de antocianina consiste em duas a três partes, uma aglicona (Antocianinas), um grupo de açúcares e, geralmente, um grupo de ácidos orgânicos.

A betalaína é um pigmento laranja e/ou vermelho/roxo, presente de forma limitada nas espécies de *Dianthus*, a partir do aminoácido tirosina, solúvel em água (DELIA et al., 2019). Esses pigmentos são armazenados nos vacúolos das células, sendo encontrada principalmente em buganvílias, beterraba, fruta do dragão e no cacto, possuindo características antioxidante e proporcionando proteção cardíaca e antibacteriana. Existe mais de 70 betalaínas naturais bem conhecidas, e todas elas têm a mesma estrutura básica (R1 e R2), as quais podem ser hidrogênio ou substituintes aromáticos. No entanto, como a betalaína é dividida em dois grupos (betaxantinas e betacianinas), existem diferenças estruturais nos β antocianinas.

A clorofila é o pigmento natural mais abundante nas plantas, existindo nos cloroplastos das folhas e em outros tecidos vegetais. É uma molécula formada a partir de um complexo derivado da porfirina com Mg (magnésio) como seu átomo central que possui uma estrutura macrocíclica assimétrica, totalmente insaturada composta por quatro anéis de pirrole (TANG et al., 2022). Estudos de uma variedade de plantas mostraram que os pigmentos de clorofila são os mesmos em todas as plantas existentes.

Os pigmentos naturais de origem vegetal têm ganhado grande visibilidade não somente como resposta aos corantes artificiais existentes, mas também como compostos bioativos de grande importância para a saúde humana. Carotenoides, betalaínas, antocianinas e clorofila são exemplos desses compostos que têm sido alvo de estudos de diversos estudos (MIRANDA et al., 2021)

A estabilidade é um fator de grande importância e influência na escolha de pigmentos, visto que pode ser um indicador de suas possíveis aplicações tecnológicas. O calor, luz, pH, oxigênio e a acidez são variáveis que têm influência na estabilidade de pigmentos (SHARMA et al., 2021). Independentemente de ser um corante natural ou sintético, a estabilidade e permanência dos pigmentos são de essencial importância e devem ser sempre considerados (MIRANDA et al., 2021; OTÁLORA et al., 2015). Como resposta a esta problemática, diversas pesquisas têm sido feitas em busca de obter tecnologias e métodos que propiciem maior estabilidade para os pigmentos naturais.

Microencapsulação

A microencapsulação é uma tecnologia que tem aplicabilidade em diferentes áreas (Indústrias farmacêuticas, alimentos e cosméticas). Nas indústrias alimentícias, possui ampla utilização ligada à melhoria e eficácia de muitos compostos valiosos extraídos de produtos naturais (pigmentos, vitaminas, aromas, sabores e compostos antioxidantes), promovendo barreira física entre os principais componentes dos produtos. Sua principal função é isolar e proteger determinadas substâncias contra os fatores externos, tais como luz, oxigênio calor e umidade. Essa tecnologia tem controle extremamente rígido sobre os atributos específicos do produto, e suas ações são controladas ou programadas (SANTOS et al., 2021). O conceito de microencapsulação foi desenvolvido, pela primeira vez, nas indústrias farmacêuticas com o objetivo de controlar e/ou alterar a liberação de medicamentos. Atualmente, esse é o campo de maior aplicação de microencapsulação (68%), enquanto que a área da alimentação representa apenas 13%. A introdução da tecnologia de microencapsulação na indústria de alimentos fez com que diversos aditivos fossem adicionados aos alimentos, melhorando suas características funcionais e permitindo o desenvolvimento de produtos com alto valor agregado (FERREIRA et al., 2021a; SANTOS et al., 2021; YAMASHITA et al., 2017).

Na concepção de Santos et al. (2021), a microencapsulação envolve um conjunto de tecnologias específicas que consiste em produzir estruturas nos quais os compostos bioativos (núcleo) são aprisionados em diferentes materiais de parede, formando barreira protetora, evitando assim, a evaporação de compostos voláteis, mascarando sabores e odores desagradáveis e melhorando o processamento e textura de vários ingredientes.

As cápsulas são classificadas conforme o seu tamanho em macrocápsulas (>5000 µm), microcápsula (0,2-5000) e nanocápsulas (<0,2), sendo divididas em dois grupos, a saber, microcápsulas (possuem núcleo na região central protegido por um material de revestimento) e microesferas (possuem pequenos núcleos uniforme em uma matriz). No entanto, o termo microencapsulação tem sido usado para as duas formas (MOHAMMAD & AZMIN et al., 2022; TUPUNA et al., 2018).

Técnicas de Microencapsulação

Atualmente, existem diversos métodos patenteados de microencapsulação. A escolha do método adequado depende do tipo, aplicação, tamanho da microcápsula desejada, dos custos de operação e sensibilidade do encapsulado. Além disso, deve-se levar em consideração as propriedades físico-químicas do material ativo e do material encapsulante e seu mecanismo de liberação (AKBARBAGLU et al., 2021; LI et al., 2019).

Ospraydryingestáentreosmétodosfísicosdemicroencapsulação mais utilizado, sendo o mais antigo nas indústrias alimentícias, devido ao baixo custo, eficiência e disponibilidade de equipamentos. Nesse método, um produto líquido, por remoção ou suspensão, é automatizado por uma corrente de gás que pode ser ar ou ozônio quente, visando obter um pó de forma instantânea. Para o referido processo, é necessário, em um primeiro momento, a preparação da dispersão ou emulsão e, em seguida, a homogeneização, alcançando, como procedimento final, a atomização da massa dentro da câmara de secagem, produzindo um pó muito fino ou grandes partículas, situação que varia de acordo com as condições de alimentação do material (CARRA et al., 2022; JANISZEWSKA-TURAK et al., 2017).

A liofilização é uma forma de obter produtos com umidade entre 3% e 4%, projetados para minimizar perdas de compostos no processo de secagem. Este processo é dividido em duas etapas nas quais, o produto congela primeiro e, em seguida, é seco por sublimação do gelo contido sob pressão reduzida. Uma das principais características da liofilização é que a secagem de alimentos não necessita de alta temperatura, sendo adequada para alimentos sensíveis ao calor (SAKULNARMRAT et al., 2021; TAO et al., 2017).

A microencapsulação por coacervação é uma das técnicas de microencapsulação mais comumente usadas, sendo uma substância hidrofóbica, baseada na interação entre polímeros, promovendo assim a separação de fases da coesão que pode ser simples ou complexa, dependendo se um ou dois polímeros são usados respectivamente. Inicialmente, na coagulação simples, para que ocorra a separação de fases, deve-se adicionar um líquido insolúvel em água ou solventes de sal inorgânico. Já na complexa, polímeros com carga oposta são misturados em solução para formar um revestimento de reagente, além disso, o encapsulamento é realizado sob a influência de

mudanças de pH ou temperatura.

A técnica de geleificação iônica ou reticulação iônica faz uso da capacidade do polímero polieletrólito reticulado em contato com íons de multiuso. O gel iônico é baseado na tecnologia de microencapsulação a partir da capacidade de reticulação de polieletrólitos na presença de íons multivalentes, como Ca^{2+} Ba^{2+} Al^{3+} . Este processo pode ser realizado por extrusão ou emulsificação, os quais são os métodos mais comumente usados (SANTOS et al., 2021). No entanto para alcançar maior eficiência é preciso empregar métodos de microencapsulação adequado, além de utilizar agentes carreadores adequados para conferir maior proteção ao material ativo.

Agentes Encapsulantes

O agente encapsulante é uma substância que forma uma película fina em torno do composto desejado. No processo de microencapsulação, diversos encapsulantes têm sido utilizados, os quais são responsáveis por revestir a substância de interesse e, também, formar micropartículas. Esses revestimentos podem vir de diferentes fontes, incluindo naturais, sintéticos e semissintéticos, dentre os quais estão os polímeros, materiais hidrofílicos e hidrofóbicos, ou mesmo a combinação dos dois (TUPUNA et al., 2018).

O grande desafio da microencapsulação é a escolha do material de revestimento utilizado no processo. É imprescindível que esse material não reaja com o material encapsulado, e apresente algumas características tecnológicas, tais como boas propriedades de secagem, baixo custo, disponibilidade no mercado, baixa viscosidade e higroscopicidade, devendo ser estável e apresentar proteção satisfatória ao material encapsulado (GARCÍA et al., 2018).

A goma arábica é comumente utilizada nas indústrias alimentícias por apresentar características inodoras, incolor e sem sabor. É composta, principalmente, de glicoproteínas, polissacarídeos e sais de cálcio, magnésio e potássio. Sua cadeia de polissacarídeos é composta por D-galactose, ligada ao ramo de L-ramnose, L-arabinose e ácido L-glucurônico. Além disso, também contém cerca de 2% de um ingrediente de proteína que está covalentemente ligada a este arranjo molecular, o qual determina as propriedades emulsificantes de goma de mascar (PINHO et al., 2022). Santos (2018), explica

que a goma arábica sempre foi considerada excelente material encapsulante, devido à sua solubilidade, baixa viscosidade, boas propriedades emulsificantes e alta estabilidade à oxidação. É também um ingrediente multifuncional, usado em sistemas alimentares por causa da sua flexibilidade molecular, e por ser compatível com outros carboidratos, proteínas e amidos modificados, potencializando o processo de microencapsulação. Embora a goma arábica seja considerada excelente material de parede, há vários problemas com o uso desse material devido ao alto custo e o fornecimento limitado desses materiais (KANG et al., 2019).

A maltodextrina é um carboidrato que se apresenta em aspectos e forma de pó branco, obtida através da hidrólise ácida do amido. Dentre os principais materiais encapsulantes, utilizados na microencapsulação, a maltodextrina tem sido muito usada devido a sua baixa viscosidade e solubilidade em água, além de ser excelente para contribuir com corpo de sistemas alimentícios (TAO et al., 2017). Possui algumas características como sabor suave levemente doce, baixo custo e eficiência considerável. Em contrapartida, apresenta baixa concentração de compostos voláteis e capacidade de emulsão limitada. Além de ser utilizada como agente encapsulante, a maltodextrina pode ser empregada como substituto de gorduras, complemento nutricional, formador de filmes e, também, para prevenção de cristalizações. A maltodextrina DE 10 e DE 20 são as mais indicadas para microencapsulação de cores e aromas, enquanto que a DE 5 e DE 15, com adição de proteínas, são bastante utilizadas para microencapsular óleos essenciais (SAKULNARMRAT et al., 2021).

A cicodextrina são substâncias formadas pela união de glucose por ligações 1,4. São obtidas a partir da degradação do amido, possui grande eficiência na microencapsulação de pigmentos naturais porém é uma substância de custo muito elevado, diminuindo o seu uso nos processos de microencapsulação (TUPUNA et al., 2018).

A gelatina é uma proteína de alto peso molecular obtida por hidrólise parcial colágeno. Sua alta taxa de uso é porque sua produção é relativamente econômica, havendo uma grande quantidade de matérias-primas e propriedades reológicas. Vale expor que a gelatina é usada para embalagens devido às suas propriedades de formação de filme emulsificação como força, ponto de fusão, viscosidade, matérias-primas, concentração de gelatina, pH, tempo e temperatura (TUPUNA

et al., 2018). A gelatina é amplamente utilizada para microencapsulação de coacervação complexa, podendo formar partículas de 50-400 μm , ressaltando-se que gel termorreversível de gelatina, após gel frio, é formado (TAO et al., 2017).

O alginato é o biopolímero mais abundante, vindo depois da celulose. Sua principal fonte de alginato é encontrada na parede celular e no espaço de alga marrom (ARRIOLA, 2017). Na química, o alginato de sódio é o sal de sódio do ácido algínico, que é um polímero de ânion solúvel em água. Além disso, o ácido algínico é um polissacarídeo natural, formado pela combinação dos resíduos de ácido β -D-manurônico (M) e ácido α -L-gulurônico (G) por meio de uma ligação (α -1 \rightarrow 4), onde, ao ser distribuído na peça para formar o bloco homopolímero tipo G (- GGG), bloco M (-MMM-) ou heteropolímero, onde os blocos M e G tornam-se alternativas (-MGMG) (CARRA et al., 2022). É interessante mencionar que, o alginato tem vantagens como ser não tóxico, não possuir interação compatível com alimentos, ser compatível com cloreto de cálcio e seus componentes, ter rigidez das microcápsulas, não afetar a viabilidade dos pigmentos que são encapsulados durante sua vida útil. Além disso, possui as características de baixo custo e forte usabilidade no mercado, gerando oportunidades de trabalho, tamanho da indústria e aceitação de materiais como aditivo na produção de alimentos (TANG et al., 2022).

Microencapsulação de Pigmentos naturais

Nos últimos anos têm surgido diversos estudos sobre microencapsulação de pigmentos naturais, com intuito de aumentar a estabilidade desses compostos para aplicação em alimentos (ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018; SOUZA et al., 2018; TANG et al., 2022; TAO et al., 2017). Lima et al., (2021), microencapsularam carotenoides extraídos de resíduos da abóbora e conseguiram diminuir a degradação desse composto durante um período de 90 dias. Já nos estudos de Ding et al., (2020), que microencapsularam luteína os autores observaram um aumento na estabilidade desses carotenoides após a exposição em quatro temperaturas diferentes, confirmando que a microencapsulação é uma técnica promissora capaz de garantir maior proteção e estabilidade aos pigmentos naturais. a tabela 1 apresentam a atuação de alguns pesquisadores na área de microencapsulação de pigmentos naturais e suas principais conclusões.

Tabela 1. Compilado de microencapsulação de pigmentos naturais e suas principais conclusões

Material encapsulado	Objetivo	Método de microencapsulação	Material de parede utilizado	Principais conclusões	Referências
Luteína	O principal objetivo deste estudo foi examinar a proteção da luteína para melhorar a sua estabilidade ao longo do tempo em condições aceleradas de temperatura e umidade relativa.	Spray drying.	Malto-dextrina, goma arábica e amido.	Os diferentes agentes encapsulantes permitiram adequada proteção do composto, mas a mistura e interação entre eles melhorou. Assim, a encapsulação de luteína é uma excelente alternativa para o proteção de sua funcionalidade; além disso podem ser convertidos em uma oportunidade como um ingrediente funcional para adicionar a produtos alimentícios	(ÁLVAREZ-HENAO et al., 2018).
Antocianinas	foi otimizar a composição da formulação por meio de Abordagem ANN-GA de acordo com a produtividade de microencapsulação e eficiência de microencapsulação.	Liofilização	maltodextrina (MD), β -ciclodextrina (β -CD), isolado de proteína de soro de leite (WPI) e goma arábica (Gum-A)	A microencapsulação usando formulações ótimas resultantes foi eficaz para proteger as antocianinas de mirtilo contra a degradação durante aquecimento.	(Tao et al., 2017).

Clorofila	Avaliar a a estabilidade de armazenamento em diferentes temperaturas.	Spray drying.	Malto-dextrina e goma arábica.	a maltodextrina sozinha pode ser recomendado como material carreador para microencapsulação adequada de clorofilas, pois este material fornece teor mínimo de umidade e máxima eficiência de encapsulamento e teor de clorofila, e exibe melhor potencial para a proteção de clorofilas microencapsuladas da degradação do que combinada com a goma arábica.	(Kang et al., 2019b).
Betalainas	Estudar a capacidade da mucilagem de Opuntia ficus de microencapsular pigmentos de Escontria chiotilla (EC) e Stenocereus queretaroensis (SQ).	Spray drying.	mucilagem de Opuntia ficus	A eficiência de mucilagem como agente de parede depende diretamente de sua proporção com quanto à quantidade de fonte de corante, apresentando melhores resultados quando a concentração de mucilagem foi aumentada. A retenção de betalainas após 3 meses foi mais de 90%, indicando que esse material de parede e o método utilizado foi adequado.	(Delia et al., 2019).

Carotenoides	Produzir e comparar micropartículas contendo um carotenoide rico extrato de cascas de guaraná produzidas por spray drying, resfriamento e suas combinações.	Spray drying e Spray Chilling	Goma arábica	A produção de micropartículas carregadas com carotenóides por secagem por pulverização, resfriamento, e um processo combinado foi mostrado como uma abordagem eficaz para fornecer estabilidade de pigmento com uma alta eficiência de encapsulamento de 82% a 100%.	(Pinho et al., 2022).
Carotenoides	Preparar microcápsulas de pigmento amarelo Gardenia (GYP) usando diferentes combinações de material de parede.	Spray drying	Maltodextrina (MD), goma arábica (GA), isolado de proteína de soja (SPI) e whey protein (WP)	Os resultados deste estudo indicaram que estes compostos podem ser utilizados na indústria alimentícia como corante natural devido apresentar boa resistência térmica o que pode satisfazer o processamento geral de alimentos.	(Tang et al., 2022b).
Antocianinas	encapsular um extrato concentrado de antocianina isolado de um subproduto da amora-preta (Rubus spp.) e avaliar as propriedades físico-químicas propriedades das micropartículas obtidas.	Liofilização	Maltodextrina (MD)	Apresentou uma abordagem potencial para usar subprodutos de amora como corantes alimentares ou ingredientes saudáveis.	(Sakunarmrat et al., 2021a).

Licope- no	O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes agentes encapsulantes nas propriedades físico-químicas e estabilidade do licopeno de um concentrado de tomate microencapsulado	Spray drying	Malto-dextrina, soro de isolado de proteína e o amido modificado.	A maltodextrina e o amido modificado levaram a menores taxas de degradação do licopeno durante o armazenamento e, portanto, esses agentes encapsulantes foram considerados os mais adequados para o encapsulamento de licopeno concentrado de tomate.	(Souza et al., 2018).
---------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------	-------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----------------------

Nos estudos apresentados na tabela 1, é possível observar que o processo de microencapsulação de pigmentos naturais resultou em moléculas mais estáveis podendo ser utilizados como corante natural nas indústrias alimentícias.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dessa maneira, através dessa revisão é possível observar que existem diversas técnicas de microencapsulação e que cada uma possui um mecanismo de funcionamento particular, que faz com que os pigmentos microencapsulados produzidos possuam características singulares. Deste modo, a escolha de qual método aplicar e material de parede utilizar dependerá do composto alvo e sua possível aplicação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARBAGLU, Z.; PEIGHAMBARDoust, S. H.; SARABANDI, K.; JAFARI, S. M. Spray drying encapsulation of bioactive compounds with in protein-based carriers; different options and applications. **Food Chemistry**, vol. 359, p. 129965, 2021.

ÁLVAREZ-HENAO, M. V., SAAVEDRA, N., MEDINA, S., JIMÉNEZ CARTAGENA, C., ALZATE, L. M., & LONDOÑO-LONDOÑO, J. Microen-

capsulation of lutein by spray-drying: Characterization and stability analyses to promote its use as a functional ingredient. **Food Chemistry**, vol. 256, n. 118, p. 181–187, 2018.

CARRA, J. B., MATOS, R. L. N. DE, NOVELLI, A. P., COUTO, R. O. DO, YAMASHITA, F., RIBEIRO, M. A. DOS S., MEURER, E. C., VERRI, W. A., CASAGRANDE, R., GEORGETTI, S. R., ARAKAWA, N. S., & BARACAT, M. M. Spray-drying of casein/pectin bioconjugate microcapsules containing grape (*Vitis labrusca*) by-product extract. **Food Chemistry**, 368, 2021.

CAMPO, C., QUEIROZ ASSIS, R., MARQUES DA SILVA, M., HAAS COSTA, T. M., PAESE, K., STANISÇUASKI GUTERRES, S., DE OLIVEIRA RIOS, A., & HICKMANN FLÔRES, S. Incorporation of zeaxanthin nanoparticles in yogurt: Influence on physicochemical properties, carotenoid stability and sensory analysis. **Food Chemistry**, 301(July), 125230, 2019.

DELIA, S. C., CHÁVEZ, G. M., LEÓN-MARTÍNEZ FRANK, M., ARACELI, S. G. P., IRAIS, A. L., & FRANCO, A. A. Spray drying microencapsulation of betalain rich extracts from *Escontria chiotilla* and *Stenocereus queretaroensis* fruits using cactus mucilage. **Food Chemistry**, 272, 715–722, 2019.

DING, Z., TAO, T., YIN, X., PRAKASH, S., WANG, X., ZHAO, Y., HAN, J., & WANG, Z. Improved encapsulation efficiency and storage stability of spray dried microencapsulated lutein with carbohydrates combinations as encapsulating material. **LWT**, 124, 109139, 2020.

FERREIRA, L. M. DE M. C., PEREIRA, R. R., DE CARVALHO, F. B., SANTOS, A. S., RIBEIRO-COSTA, R. M., & CARRÉRA SILVA JÚNIOR, J. O. Green Extraction by Ultrasound, Microencapsulation by Spray Drying and Antioxidant Activity of the Tucuma Coproduct (*Astrocaryum vulgare* Mart.) Almonds. **Biomolecules**, Vol. 11, Page 545, 11(4), 545, 2021.

GARCÍA, J. M., GIUFFRIDA, D., DUGO, P., MONDELLO, L., & OSORIO, C. Development and characterisation of carotenoid-rich microencapsulates from tropical fruit by-products and yellow tamarillo (*Solanum betaceum* Cav.). **Powder Technology**, 339, 702–709, 2018.

JANISZEWSKA-TURAK, E., DELLAROSA, N., TYLEWICZ, U., LAGHI, L., ROMANI, S., DALLA ROSA, M., & WITROWA-RAJCHERT, D. The influ-

ence of carrier material on some physical and structural properties of carrot juice microcapsules. **Food Chemistry**, 236, 134–141, 2017.

KANG, Y. R., LEE, Y. K., KIM, Y. J., & CHANG, Y. H. Characterization and storage stability of chlorophylls microencapsulated in different combination of gum Arabic and maltodextrin. **Food Chemistry**, 272, 337–346, 2019.

LI, X. YU, WU, M. BIN, XIAO, M., LU, S. HUAN, WANG, Z. MING, YAO, J. MING, & YANG, L. (2019). Microencapsulated β -carotene preparation using different drying treatments. **Journal of Zhejiang University-SCIENCE**, 20 (11), 901–909, 2019.

LIMA, P. M., DACANAL, G. C., PINHO, L. S., PÉREZ-CÓRDOBA, L. J., THOMAZINI, M., MORAES, I. C. F., & FAVARO-TRINDADE, C. S. Production of a rich-carotenoid colorant from pumpkin peels using oil-in-water emulsion followed by spray drying. **Food Research International**, 148, 110627, 2021.

MIRANDA, P. H. S., SANTOS, A. C. DOS, FREITAS, B. C. B. DE, MARTINS, G. A. DE S., VILAS BOAS, E. V. DE B., & DAMIANI, C. A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits. **Trends in Food Science & Technology**, 113, 335–345, 2021.

Mohammad Azmin, S. N. H., Sulaiman, N. S., Mat Nor, M. S., Abdullah, P. S., Abdul Kari, Z., & PATI, S. A Review on Recent Advances on Natural Plant Pigments in Foods: Functions, Extraction, Importance and Challenges. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, 194(10), 4655–4672, 2022.

NORCINO, L. B., MENDES, J. F., FIGUEIREDO, J. DE A., OLIVEIRA, N. L., BOTREL, D. A., & MATTOSO, L. H. C. Development of alginate/pectin microcapsules by a dual process combining emulsification and ultrasonic gelation for encapsulation and controlled release of anthocyanins from grapes (*Vitis labrusca* L.). **Food Chemistry**, 391, 2022.

OTÁLORA, M. C., CARRIAZO, J. G., ITURRIAGA, L., NAZARENO, M. A., & OSORIO, C. Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, 187, 174–181, 2015.

PEREIRA, K. C., MOTA FERREIRA, D. C., ALVARENGA, G. F., SALVADOR PEREIRA, M. S., SOUTO BARCELOS, M. C., & GOMES DA COSTA, J. M. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, 21, 2017083, 2018.

PINHO, L. S., DE LIMA, P. M., DE SÁ, S. H. G., CHEN, D., CAMPANELLA, O. H., DA COSTA RODRIGUES, C. E., & FAVARO-TRINDADE, C. S. Encapsulation of Rich-Carotenoids Extract from Guaraná (*Paullinia cupana*) Byproduct by a Combination of Spray Drying and Spray Chilling. **Foods**, 11(17), 2022.

RORIZ, C. L., BARROS, L., PRIETO, M. A., MORALES, P., & FERREIRA, I. C. F. R. Floral parts of *Gomphrena globosa* L. as a novel alternative source of betacyanins: Optimization of the extraction using response surface methodology. **Food Chemistry**, 229, 223–234, 2017.

SAKULNARMRAT, K., WONGSRIKAEW, D., & KONCZAK, I. Microencapsulation of red cabbage anthocyanin-rich extract by drum drying technique. **LWT**, 137, 110473, 2021.

SANTOS, P. D. DE F., RUBIO, F. T. V., DA SILVA, M. P., PINHO, L. S., & FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation of carotenoid-rich materials: A review. **Food Research International**, 147, 110571, 2021.

SHARMA, M., USMANI, Z., GUPTA, V. K., & BHAT, R. (2021). **Valorization of fruits and vegetable wastes and by-products to produce natural pigments**. 1873240, 41(4), 535–563, 2021.

SOUZA, A. L. R., HIDALGO-CHÁVEZ, D. W., PONTES, S. M., GOMES, F. S., CABRAL, L. M. C., & TONON, R. V. Microencapsulation by spray drying of a lycopene-rich tomato concentrate: Characterization and stability. **Lwt**, 91(February), 286–292, 2018.

TANG, L., LIU, H., HUANG, G., YUAN, Z., FU, M., BU, Z., WEN, J., & XU, Y. The structural characterization, physicochemical properties, and stability of gardenia yellow pigment microcapsules. **Lwt**, 162, 113507, 2022.

TAO, Y., WANG, P., WANG, J., WU, Y., HAN, Y., & ZHOU, J. Combining various wall materials for encapsulation of blueberry anthocyanin

extracts: Optimization by artificial neural network and genetic algorithm and a comprehensive analysis of anthocyanin powder properties. **Powder Technology**, 311, 77–87, 2017.

TUPUNA, D. S., PAESE, K., GUTERRES, S. S., JABLONSKI, A., FLÔRES, S. H., & RIOS, A. O. Encapsulation efficiency and thermal stability of norbixin microencapsulated by spray-drying using different combinations of wall materials. **Industrial Crops and Products**, 111, 846–855, 2018.

YAMASHITA, C., CHUNG, M. M. S., DOS SANTOS, C., MAYER, C. R. M., MORAES, I. C. F., & BRANCO, I. G. Microencapsulation of an anthocyanin-rich blackberry (*Rubus* spp.) by-product extract by freeze-drying. **Lwt**, 84, 256–262, 2017.



 **EDUFT**
Conhecimento na palma da mão