



AGRON FOOD
ACADEMY

INOVACÕES EM BIOTECNOLOGIA VERDE: DA EXTRAÇÃO A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NATURAIS

Natureza, Avanço, Sustentabilidade

**VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO**

2024



INOVACÕES EM BIOTECNOLOGIA VERDE: DA EXTRAÇÃO A APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NATURAIS

Natureza, Avanço, Sustentabilidade

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO

2024

ORGANIZADORES

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Gabriel Monteiro da Silva
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

REVISÃO FINAL

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Gabriel Monteiro da Silva
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

CAPA

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

EDITOR-CHEFE

Jackson Andson de Medeiros - Agron Food
Academy



Venda proibida



Open access

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

INOVAÇÕES EM BIOTECNOLOGIA VERDE: DA EXTRAÇÃO À
APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NATURAIS [livro eletrônico] :
/ Organização: Virgínia Mirtes de Alcântara
Silva, Newton Carlos Santos, Gabriel Monteiro da Silva &
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro. -- Jardim do Seridó, RN
: Agron Food Academy, 2024.

PDF

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-85062-19-0

1. Alimentos - Manipulação 2. Alimentos -Medidas de
segurança 3. Alimentos - Produção 4. Globalização 5.
Tecnologia de alimentos I. Silva, Virgínia Mirtes de
Alcântara.

II. Santos, Newton Carlos. III. Silva, Gabriel Monteiro da IV.
Ribeiro, Victor Herbert de Alcântara.
23-181027 CDD-664

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia de alimentos 664



doi.org/10.53934/202413

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

DEDICATÓRIA

Esta edição é dedicada a amiga e Professora Aline Manke Nachtigall, pelo reconhecimento de sua força e pioneirismo no IFSULDEMINAS - Campus Machado, liderando a implementação do primeiro mestrado e ampliando as ofertas de pós-graduação e cursos técnicos, além de suas contribuições na infraestrutura física e tecnológica, melhorando a qualidade e acessibilidade do ensino. Esse é o reflexo de seu compromisso contínuo com a excelência e seu impacto inspirador na comunidade acadêmica, demonstrando integridade e paixão.

PREFÁCIO

Dr. Renato Ferraz de Arruda Veiga

Diretor Administrativo – FUNDAG

Quando lemos um livro como este, é inevitável lembrar da base científica dos Recursos Genéticos, com os oito Centros de Origem das plantas cultivadas, propostos por Nicolai Ivanovich Vavilov (1951). Além disso, é importante considerar os trabalhos de Russell Alan Mittermeier, Thomas Lovejoy e equipe, que na década de 1980 cunharam e aplicaram o termo Megadiversidade para descrever um grupo seletivo de 12 países, detentores de 70% de toda a diversidade da Terra, conforme apresentado na Conferência sobre Biodiversidade realizada no Smithsonian Institution em Washington, DC. Posteriormente, Jeffrey McNeely et al. (1997) ampliaram este número para 17 países. Segundo Mittermeier et al. (1992), o Brasil se destaca neste cenário, com 20% de toda a diversidade mundial, posicionando-o como o país maior megadiversidade do planeta.

No que diz respeito à agricultura, o Brasil também é um líder global, especialmente em espécies hortícolas, que incluem espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas, utilizadas pelas suas flores, folhas, frutos e tubérculos. O país se destaca também por suas contribuições em pesquisa, tecnologia e inovação, consolidando sua posição como líder global nestes setores. Gabriel Azevedo (2023) relata um crescimento de 30,4% nas exportações brasileiras de frutas frescas em 2023, em comparação com o ano anterior. Por outro lado, José Florentino e Luiz Fernando Figliagi (2024) mencionam que o clima favorável, que impulsionou o Produto Interno Bruto (PIB) da agropecuária em 15,1% no ano de 2023, pode trazer desafios em 2024 com o recuo dos preços dos grãos, o que poderá afetar o desempenho do setor.

Esta obra focaliza como as tecnologias emergentes podem transformar o processamento e a preservação de alimentos de maneira sustentável, utilizando técnicas avançadas como espectrometria de massa, cromatografia e ressonância magnética nuclear. Além disso, aborda o uso de ultrassom, filmes biodegradáveis, solventes especiais e técnicas de fermentação, demonstrando como essas inovações expandem as possibilidades na produção industrial.

Segundo a FAO e ABC/MRE (2022), o Programa de Cooperação Internacional Brasil-FAO tem como objetivo "unir as duas pontas" a partir de projetos inovadores capazes de equilibrar essa realidade, com foco no combate à pobreza, fome zero e fortalecimento da agricultura sustentável. Há a necessidade de transformar os sistemas agroalimentares para enfrentar desafios globais, apoiando a visão da FAO para um mundo sustentável onde todos tenham segurança alimentar, conforme o Marco Estratégico 2022-2031 e a Agenda 2030.

As matérias-primas discutidas aqui incluem frutas e grãos, não se esquecendo das espécies nativas, que posicionam o Brasil como o terceiro maior produtor mundial de frutas, atrás apenas da China e da Índia. Porém, apesar de se destacar neste item, sua participação no mercado internacional ainda não ultrapassa 3% do que é produzido. Thalles Roberto Botelho Silva (2021) menciona que, tendo em vista os padrões cada vez mais exigentes por parte dos consumidores, que buscam uma alimentação mais saudável e uma rastreabilidade confiável, as adequações precisam acontecer no que diz respeito às técnicas e ao controle de produção, condições de apresentação da fruta nos pontos de venda, gargalos de logística, além de acordos comerciais que prejudicam a competitividade de preço no mercado final.

Segundo AGROSTAT (2017), na safra 2016/2017, o país obteve recordes na produção de grãos e a balança comercial do agronegócio brasileiro registrou superávit de US\$ 81,7 bilhões em 2017, contribuindo significativamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, promovendo práticas sustentáveis e inovadoras no setor agrícola.

Alecrim: *Rosmarinus officinalis* L., originário dos países mediterrâneos, entre o norte da África e o sul da Europa, é considerado estimulante, digestivo, antioxidante e anti-inflamatório. Suas folhas são valorizadas por seus compostos fenólicos e riqueza em terpenos. Utilizado na extração de óleos essenciais, é notável por suas propriedades terapêuticas e industriais, atuando como potentes antioxidantes e antimicrobianos, essenciais na conservação de alimentos e no desenvolvimento de medicamentos naturais. Existem mais de 10 variedades em cultivo no Brasil, todas com o mesmo uso, porém com aromas e características sutis diferentes (LORENZI, H.; MATOS, F., 2006).

Abacate: *Persea americana* Miller, nativo da América Central e México, é notável pelo seu amido usado na fabricação de filmes biodegradáveis. O Brasil é um importante produtor e exportador de abacate, tanto para o mercado interno quanto para o mercado internacional. O uso como biodegradável não apenas reduz o uso de plásticos sintéticos, mas também promove a utilização integral do fruto, alinhando-se com métodos de produção sustentável. Nelson Moreira (2023) cita que o IBGE estima que a produção de abacate no Brasil tenha crescido cerca de 38,59% entre 2017 e 2021, chegando hoje a ocupar 18,1 mil hectares.

Banana: *Musa* L. spp., originária do Sudeste Asiático, embora erroneamente pensada como nativa do Brasil devido à popularidade de Carmem Miranda nas décadas de 40 e 50 que com seus turbantes adornados com frutas tropicais, incluía as bananas. Suas cascas são ricas em fibras e pectina, utilizadas para alterar propriedades funcionais em alimentos, aproveitando resíduos e suportando a eficiência industrial e a redução do desperdício. Para George Correa Amaro et al. (2021), o Brasil é o quarto maior produtor de bananas, com 5,3% da produção mundial, ficando atrás da Índia, China e Indonésia.

Ervilha: Originária da Europa e Ásia Ocidental, é uma das leguminosas mais antigas utilizadas pelo ser humano. Ficou conhecida mundialmente através dos trabalhos de Charles Darwin que as utilizou em seus experimentos de seleção artificial para estudar a hereditariedade e os princípios básicos da evolução. No Brasil, são melhoradas duas variedades: a Ervilha de grão seco (*Pisum sativum* L.) e a Ervilha forrageira (*Pisum sativum* L. var. *arvense*), do BAG da Embrapa Hortaliças. O primeiro tipo tem potencial para suprir, na época de maior escassez (novembro-dezembro), a produção e a oferta insuficientes de milho para a formulação de rações para suínos e aves, especialmente nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. Nessas regiões, o destino das ervilhas pode seguir o exemplo da França, onde 68% da produção é usada para suínos, 19% para alimentação de frangos e 7,5% é consumida por bovinos. As cultivares visando ao uso como grãos verdes possuem sementes rugosas e teor de açúcares mais elevado que as cultivares de grãos lisos.

Grão-de-bico: *Cicer arietinum* L., originário do Oriente Médio, é fermentado para produzir farinhas com propriedades tecnológicas e nutricionais aprimoradas. Devido à sua alta concentração de proteína e textura carnuda quando cozido, é frequentemente utilizado como substituto de carne em receitas vegetarianas e veganas.

Segundo a Farmabox (2023), no Brasil, a área produzida já passava dos 12 mil hectares em 2019, mas a produção atual do país não é suficiente para atender o mercado interno, sendo suplementada por importações do México, Chile e Argentina.

Maracujá: *Passiflora edulis* Sims, originária da América do Sul, é amplamente produzida no Brasil, sendo o maior produtor e consumidor mundial. Também é conhecida pelo nome de “Paixão de Cristo” originado pelos espanhóis ao compararem o formato de sua flor com a coroa de Cristo. Sua casca é utilizada para a extração de pectina, uma fibra solúvel empregada como agente gelificante e estabilizante na indústria alimentícia, promovendo o uso sustentável de subprodutos agroindustriais. Tatiana Góes Junghans e Onildo Nunes de Jesus (2017) citam que os estados da Bahia, do Ceará, do Espírito Santo e de Minas Gerais são, pela ordem, os que mais a produzem.

Pitanga: *Eugenia uniflora* L., nativa da América do Sul, com várias espécies nativas do Brasil, é utilizada para a extração de antioxidantes de sua polpa liofilizada, rica em vitaminas A e C e flavonoides. Seus compostos bioativos são fundamentais para melhorar a qualidade nutricional dos alimentos e promover a saúde humana. Para Bruna Eduarda Kreling et al. (2023), ela apresenta boa adaptabilidade a diferentes tipos de solo e clima, sendo considerada uma opção para o produtor brasileiro que deseja diversificar sua produção.

Pitaya: É uma Cactaceae conhecida como “fruta-do-dragão” devido ao formato escamoso de sua casca que lembra a pele desta criatura lendária. Originária das regiões tropicais e subtropicais das Américas Central e do Sul, pode ser encontrada sendo comercializada no Brasil com três espécies. São elas: *Hylocereus undatus* (Haw.) Britton & Rose, com polpa branca, a *Hylocereus costaricensis* (FACWeber) Britton & Rose, de casca e polpa vermelhas, e *Hylocereus megalanthus* (K.Schum. ex Vaupel) Moran, de casca amarela e polpa creme, das Américas, têm sua casca rica em vitamina C e antioxidantes usados para enriquecer produtos lácteos como queijos de leite de cabra, melhorando suas propriedades físico-químicas e funcionais. Segundo Ernane Nogueira Nunes (2001), a primeira já se destacava no Brasil na região da Chapada do Apodí, no Ceará. Juliana Caldas (2023) cita que atualmente novas cultivares destas espécies têm sido lançadas pelos melhoristas do BAG-Pitaya-Embrapa, coordenados pelo Dr. Fábio Faleiro, como a BRS Lua do Cerrado, a BRS Luz do Cerrado, a BRS Granada do Cerrado, a BRS Minipitaya do Cerrado e a BRS Âmbar do Cerrado.

Uva: *Vitis vinifera* L. é originária da região do Cáucaso, sendo frequentemente associada a celebrações, festivais e rituais religiosos em muitas culturas, o que contribui para sua importância cultural e simbólica. Possui em sua casca um subproduto da vinificação típico das regiões da Ásia Central, sendo aproveitada por seu alto teor de resveratrol, antocianinas e taninos. Esses compostos conferem potencial antioxidante e anti-inflamatório, crucial para a criação de embalagens biodegradáveis e a promoção de uma indústria alimentícia mais sustentável. No segmento dos vinhos finos, os espumantes brasileiros têm se destacado, alcançando boas colocações em premiações do circuito mundial (MOURA, M. F.; HERNANDES, J. L.; JÚNIOR, M. P., 2021).

A pesquisa científica e a inovação desempenham um papel fundamental na busca por soluções sustentáveis na indústria alimentícia e farmacêutica. Ao desenvolver novos métodos de produção mais alinhados com a sustentabilidade, é possível maximizar a eficiência dos recursos naturais e minimizar o impacto ambiental.

Técnicas como o pré-tratamento com ultrassom, fermentação e o uso de solventes eutéticos são exemplos de abordagens inovadoras que têm o potencial de transformar essas indústrias. O pré-tratamento com ultrassom, por exemplo, pode ser utilizado para melhorar a eficiência dos processos de extração de compostos bioativos de matérias-primas vegetais, reduzindo a necessidade de solventes químicos e o consumo de energia.

Da mesma forma, a fermentação pode ser empregada não apenas na produção de alimentos, como queijos e iogurtes, mas também na síntese de compostos bioativos e na produção de bioplásticos e biocombustíveis. Essa técnica aproveita microrganismos para transformar substratos naturais em produtos de alto valor agregado, contribuindo para a redução do desperdício e a utilização mais eficiente dos recursos.

Além disso, o uso de solventes eutéticos, que são misturas de compostos que formam líquidos de ponto de fusão mais baixo do que os solventes individuais, pode reduzir o impacto ambiental dos processos de extração e purificação de compostos bioativos. Esses solventes alternativos são mais seguros, menos tóxicos e têm menor impacto na saúde humana e no meio ambiente.

Portanto, a pesquisa científica e a inovação, aqui constantes, são relevantes para impulsionar a transição para uma indústria alimentícia e farmacêutica mais sustentável, alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas. Ao adotar essas técnicas inovadoras, é possível promover a produção de alimentos e medicamentos de forma mais eficiente, econômica e ambientalmente responsável.

AGRADECIMENTO

Este ano de 2024, empenhamos nossos esforços para a realização de pesquisas avançadas com o propósito de orientar inovações no processamento e na preservação de alimentos de maneira sustentável. Utilizamos técnicas analíticas avançadas como a espectrometria de massa, cromatografia e ressonância magnética nuclear, que são fundamentais para compreender as alterações químicas em alimentos processados. Além disso, abordamos a utilização de ultrassom, filmes biodegradáveis, solventes especiais e técnicas de fermentação, ressaltando como essas novas tecnologias estão expandindo as fronteiras da produção de alimentos.

Os métodos convencionais de extração sólido-líquido, ineficientes e lentos, utilizam grandes quantidades de solventes e apresentam riscos de toxicidade, motivando o desenvolvimento de técnicas de extração mais sustentáveis que minimizam ou eliminam o uso de solventes orgânicos,

O processo de extração tem como objetivo principal isolar e remover compostos específicos de matrizes alimentares, de modo a maximizar a extração de substâncias de interesse como nutrientes, antioxidantes e óleos essenciais, e minimizar impurezas. As técnicas tradicionais, como maceração, infusão e extração Soxhlet, apesar de amplamente utilizadas, são ineficientes, demoradas e frequentemente envolvem o uso excessivo de solventes, o que eleva os riscos de toxicidade. Isso tem fomentado o desenvolvimento de métodos de extração mais eficientes que reduzem ou eliminam o uso de solventes orgânicos.

Métodos sustentáveis e não tóxicos estão sendo cada vez mais demandados, não só por razões ambientais, mas também pela preferência dos consumidores por produtos considerados mais naturais. Essas inovações visam não apenas melhorar a eficiência produtiva e a sustentabilidade ao valorizar resíduos da indústria, mas também garantir a segurança alimentar e melhorar o sabor e aroma dos produtos, essenciais para a aceitação do consumidor.

Novas técnicas, como extração assistida por ultrassom (EAU), extração com fluidos subcríticos e supercríticos (SFE), extração assistida por micro-ondas (MAE) e extração acelerada por solventes (ASE), propõem alternativas aos métodos convencionais, reduzindo o uso de solventes tóxicos, aumentando a eficiência do processo e melhorando a qualidade do extrato.

Essas técnicas também podem ser usadas em combinação com pré-tratamentos ou solventes orgânicos seguros para otimizar a extração. O ultrassom, em particular, é destacado por sua eficácia, baixo custo e versatilidade, sendo uma técnica promissora para a extração limpa e verde de uma variedade de moléculas e biomateriais, incluindo polissacarídeos, óleos essenciais e moléculas bioativas.

Dessa forma, a obra inclui a utilização de técnicas analíticas avançadas usadas para caracterizar a qualidade e a funcionalidade dos produtos processados. Métodos como espectrometria de massa, cromatografia líquida e gasosa, ressonância magnética nuclear (NMR), e técnicas de microscopia eletrônica são essenciais para elucidar as complexas interações e transformações químicas que ocorrem durante o processamento verde.

Toda a pesquisa está alinhada com os padrões do Global Food Safety Initiative (GFSI) e do Codex Alimentarius, visando promover práticas seguras e sustentáveis na produção e processamento de alimentos, a segurança alimentar, a qualidade dos produtos e a conformidade com as normas internacionais. Esses padrões são essenciais para garantir que os alimentos processados sejam seguros para o consumo humano e atendam aos requisitos regulatórios. A pesquisa busca contribuir para uma indústria alimentícia mais responsável e confiável, beneficiando tanto os produtores quanto os consumidores.

Desse modo, expressamos que o objetivo de nossa equipe de não apenas manter atualizados sobre as últimas tendências e avanços na ciência de alimentos, engenharia e tecnologia de alimentos, mas também fornece uma visão ampla e aprofundada sobre os principais desafios enfrentados na produção e processamento de alimentos. Assim, as pesquisas desenvolvidas servem como uma referência para todos aqueles que desejam se aprofundar em um dos campos mais dinâmicos e desafiadores da ciência e tecnologia contemporâneas.

Finalmente, gostaríamos de agradecer ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por fornecerem bolsas de mestrado e doutorado para os autores, o que possibilitou a realização deste trabalho e a continuidade das pesquisas na área de alimentos e nutrição.

Os autores

APRESENTAÇÃO

Marcelo Bregagnoli

Diretor de Desenvolvimento da Rede Federal de Educação
Profissional, Científica e Tecnológica - BRASIL

É com satisfação que apresento essa obra "INOVAÇÕES EM BIOTECNOLOGIA VERDE: DA EXTRAÇÃO À APLICAÇÃO DE SUBSTÂNCIAS NATURAIS", uma contribuição valiosa ao processamento de alimentos no cenário global atual. Diante do crescente desafio de assegurar alimentos seguros e de alta qualidade perante um aumento populacional e as mudanças climáticas, a inovação tecnológica surge como um pilar fundamental. Este trabalho enfatiza a importância de se utilizar matérias-primas estratégicas, ricas em compostos com benefícios comprovados à saúde, como flavonoides, terpenos, resveratrol, antocianinas, entre outros, encontrados em folhas de alecrim, abacate, casca de uva, pitanga, casca de banana, maracujá, pitaya, ervilha e grão-de-bico.

Neste contexto de inovação e sustentabilidade, verificamos o potencial transformador das biotecnologias verdes, utilizando técnicas emergentes, como o pré-tratamento com ultrassom para extração de óleos essenciais e o uso de solventes eutéticos profundos, que promovem processos mais sustentáveis e eficientes. Abordagens como a produção de filmes biodegradáveis através de casting, a incorporação de extratos naturais em alimentos e a fermentação para aprimorar propriedades tecnológicas e nutricionais de farinhas demonstram o potencial das inovações em biotecnologia verde. Este livro visa ser um recurso essencial para pesquisadores, acadêmicos e profissionais, inspirando avanços contínuos na produção sustentável de alimentos e marcando um novo paradigma no setor.

O Capítulo 1 - EFEITO DO TEMPO DE ULTRASONICAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DAS FOLHAS DE ALECRIM – Investigou o impacto do tempo de ultrasonicação na extração de óleos essenciais de folhas de alecrim, destacando o alecrim por suas propriedades terapêuticas e industriais. O estudo foca na otimização dos métodos de extração, com especial atenção ao pré-tratamento ultrassônico para melhorar a eficiência e o rendimento da extração. Os resultados apontam para um aumento significativo no rendimento e na concentração de compostos fenólicos e atividade antioxidante nos óleos essenciais após o tratamento ultrassônico, sugerindo uma técnica promissora para a produção de agentes antimicrobianos naturais.

O Capítulo 2 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE FILMES BIODEGRADÁVEIS PRODUZIDOS COM AMIDO DE ABACATE E EXTRATO DA CASCA DE UVA – Abordou o desenvolvimento e a caracterização de filmes biodegradáveis feitos a partir de amido de abacate e extrato da casca de uva, explorando seus potenciais aplicações em embalagens sustentáveis. O estudo revela que a inclusão do extrato da casca

de uva não apenas aproveita resíduos agroindustriais, mas também melhora propriedades físicas e funcionais dos filmes, como a resistência à tração e atividade antioxidante. Esses filmes apresentam uma estrutura complexa, evidenciada por análises de microscopia e difração de raios X, sugerindo uma modificação na cristalinidade e potencial para embalagens ativas e funcionais.

O Capítulo 3 - DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA POLPA DE PITANGA LIOFILIZADA UTILIZANDO SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDOS - Explorou o potencial antioxidante da polpa de pitanga liofilizada, utilizando solventes eutéticos profundos (NADES) para a extração de compostos antioxidantes. O estudo destaca a eficácia dos NADES, especialmente os compostos por ácido láctico/glicose e betaína/glicerol, na melhoria da extração desses compostos bioativos, com resultados significativos na capacidade antioxidante e atividade antioxidante, avaliada pelos métodos DPPH e ABTS. Este capítulo destaca a importância dos NADES como solventes verdes na obtenção de extratos com alto valor antioxidante, contribuindo para práticas sustentáveis na indústria alimentar.

O Capítulo 5 - CASCA DE BANANA COMO SUBPRODUTO AGROINDUSTRIAL: EFEITO DA MODIFICAÇÃO FÍSICA NAS SUAS PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS - Explorou o uso da casca de banana, um subproduto agroindustrial, e o efeito da modificação física por recozimento nas suas propriedades tecnológicas. O estudo demonstra que o recozimento altera significativamente a composição química da farinha de casca de banana, resultando em uma diminuição nos componentes de amido e um aumento nas propriedades hidrofílicas, lipofílicas e nos teores de compostos fenólicos totais. Essas mudanças sugerem um potencial aumentado para aplicações da farinha de casca de banana em produtos alimentícios, destacando uma abordagem inovadora para valorizar resíduos agroindustriais.

O Capítulo 6 EXTRAÇÃO DE PECTINA DA CASCA DO MARACUJÁ ASSISTIDA POR ULTRASSOM - Esse método mostrou-se eficiente na quebra das paredes celulares e na liberação de pectina, com melhorias observadas no potencial Zeta e no grau de metoxilação. Este estudo reforça a ultrassonicação como uma técnica ecologicamente correta e eficaz para a extração de pectina, com implicações positivas para o aproveitamento de subprodutos agroindustriais.

O Capítulo 7 QUEIJO DE LEITE DE CABRA ADICIONADO DE EXTRATOS DA CASCA DE PITAYA: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E FUNCIONAL - Examinou a adição de extratos da casca de pitaya em queijos de leite de cabra, focando na caracterização físico-química e funcional desses queijos. A pesquisa revela que a inclusão do extrato da casca de pitaya afeta significativamente as propriedades do queijo, incluindo umidade, atividade de água, pH, acidez, firmeza e potencial antioxidante. Os resultados indicam que o extrato da casca de pitaya não só melhora a firmeza e o potencial antioxidante do queijo, mas também sugere um perfil de segurança microbiológica satisfatório, contribuindo para a inovação em produtos lácteos funcionais e saudáveis.

O Capítulo 8 PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE FARINHAS DE ERVILHA E GRÃO-DE-BICO FERMENTADOS - Explorou uma técnica promissora de fermentação de grãos de ervilha e grão-de-bico, seguida por secagem convectiva e moagem, para produzir farinhas com propriedades tecnológicas e nutricionais aprimoradas. Esta metodologia inovadora não apenas melhora o valor nutricional das farinhas, mas também potencializa suas aplicações em produtos alimentícios, reforçando a importância de processos fermentativos na obtenção de ingredientes mais funcionais e sustentáveis. Parte superior do formulário

Ao revisitar as páginas desta obra, testemunhamos o comprometimento da equipe em cumprir suas metas essenciais, contribuindo significativamente para o avanço da ciência e segurança alimentar, alinhando-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em áreas como a eliminação da fome, promoção da saúde, bem-estar e práticas sustentáveis. Estas áreas são fundamentais para avançar de forma sustentável na agricultura e na produção de alimentos. Assim, reafirmamos, em consonância com a Organização das Nações Unidas e a FAO, o papel essencial da tecnologia como aliada estratégica na busca pela segurança alimentar mundial, incentivando o desenvolvimento de pesquisas e inovações neste campo.

Este livro se estabelece como recurso imprescindível para pesquisadores, estudantes e profissionais do setor, ao oferecer dados replicáveis, sobre as técnicas mais avançadas e eficazes no processamento de alimentos.

Almejamos que esta publicação seja uma fonte de inspiração para novas pesquisas e que catalise progressos na área. Com prazer, apresento esta coleção, resultado de um trabalho dedicado ao longo desse ano de 2024, com a distribuição gratuita visando a expansão do conhecimento e o estímulo à pesquisa e inovação no processamento alimentar em escala global. Esperamos que este material seja fundamental na formação dos leitores e atue como estímulo para o avanço de novas tecnologias e práticas sustentáveis no setor de alimentos.

SUMÁRIO

Capítulo 1

doi 10.53934/202413.01

**EFEITO DO TEMPO DE ULTRASONICAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS
ESSENCIAIS DAS FOLHAS DE ALECRIM** 12

Capítulo 2

doi 10.53934/202413.02

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICA,
FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE FILMES BIODEGRADÁVEIS
PRODUZIDOS COM AMIDO DE ABACATE E EXTRATO DA CASCA DE
UVA** 25

Capítulo 3

doi 10.53934/202413.03

**DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA POLPA DE
PITANGA LIOFILIZADA UTILIZANDO SOLVENTES EUTÉTICOS
PROFUNDO** 40

Capítulo 4

doi 10.53934/202413.04

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO CARREGADOS
COM MUCILAGENS DE ALOE VERA E PALMA FORRAGEIRA** 52

Capítulo 5

doi 10.53934/202413.05

**CASCA DE BANANA COMO SUBPRODUTO AGROINDUSTRIAL: EFEITO
DA MODIFICAÇÃO FÍSICA NAS SUAS PROPRIEDADES
TECNOFUNCIONAIS** 63

SUMÁRIO

Capítulo 6

doi 10.53934/202413.06

**EXTRAÇÃO DE PECTINA
DA CASCA DO MARACUJÁ ASSISTIDA POR ULTRASSOM** **75**

Capítulo 7

doi 10.53934/202413.07

**PROPRIEDADES TECNOLÓGICAS DE FARINHAS DE ERVILHA E GRÃO-
DE-BICO FERMENTADOS** **88**

Capítulo 8

doi 10.53934/202413.08

**QUEIJO DE LEITE DE CABRA ADICIONADO DE EXTRATOS DA CASCA
DE PITAYA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E FUNCIONAL** **101**



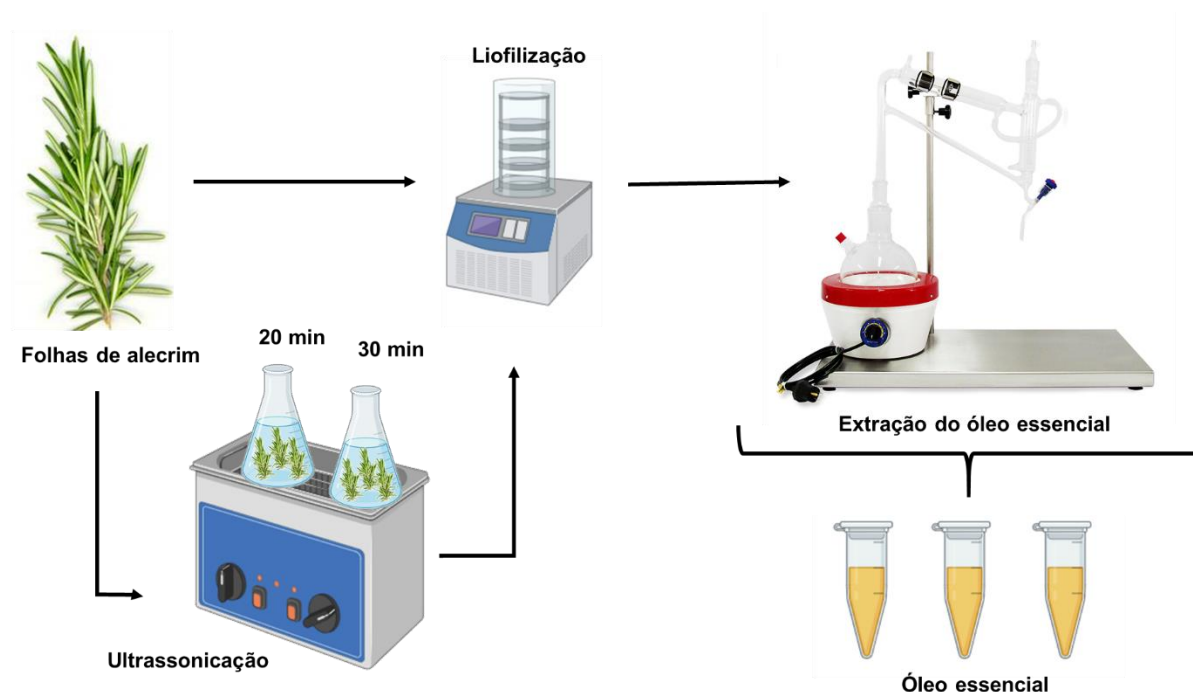
EFEITO DO TEMPO DE ULTRASONICAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DAS FOLHAS DE ALECRIM

DPPH, ABTS E FRAP

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS
DANISE MEDEIROS VIEIRA

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

A extração de óleos essenciais de plantas aromáticas e medicinais tem sido uma prática amplamente utilizada ao longo da história, tanto para fins terapêuticos quanto industriais (Zhao et al., 2022). Entre as muitas plantas de interesse para a extração de óleos essenciais, o alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) se destaca como uma erva popular e versátil. Esta planta, caracterizada por sua natureza densa e perene, possui folhas em forma de agulha e um aroma característico que a torna apreciada em todo o mundo. Além de seu apelo aromático, as folhas de alecrim são conhecidas por sua riqueza em nutrientes, incluindo ferro, cálcio e vitamina B6 (Brandt et al., 2023). Segundo Kedir et al. (2023) o alecrim possuiu propriedades medicinais e terapêuticas, atribuídas principalmente aos seus compostos bioativos, como os polifenóis. Estes incluem o carnosol, ácido carnósico, ácido metilcarnósico, ácido rosmarínico, ácido ursólico, entre outros, que demonstraram uma série de efeitos benéficos à saúde.

No entanto, para aproveitar ao máximo os benefícios dos óleos essenciais de alecrim, é crucial otimizar os métodos de extração. Nesse contexto, o pré-tratamento com ultrassom tem despertado interesse como uma abordagem promissora para melhorar a sua eficiência (Li et al., 2024). A aplicação de ultrassom antes do processo de extração pode facilitar a ruptura das estruturas celulares das folhas de alecrim, aumentando assim a liberação dos óleos essenciais e dos compostos bioativos neles contidos (Wu et al., 2024).

A tecnologia ultrassônica é uma das tecnologias de processamento não térmico mais amplamente utilizadas na indústria química “verde” (Sun et al., 2024). As ondas ultrassônicas são transmitidas através do banho ultrassônico ou da sonda ultrassônica para um meio aquoso, como água destilada. Sob a ação ultrassônica, pequenas bolhas são formadas na nucleação do líquido, e os núcleos das bolhas produzem oscilação, contração e colapso (ou seja, o efeito de cavitação ultrassônica) (Qiu et al, 2020). O efeito da cavitação ultrassônica rompe as paredes celulares das matrizes vegetais, enfraquecendo e rompendo a membrana celular, e facilitando a liberação de compostos bioativos e sua extração, promovendo assim a liberação mais fácil de umidade dos produtos e melhorando o processamento de alimentos (Sun et al., 2024).

Conhecida como um método de extração a frio, esta técnica opera em temperaturas baixas que não comprometem a estabilidade dos compostos extraídos. Além disso, pode ser aplicada como pré-tratamento ou em combinação com solventes orgânicos seguros e sustentáveis para aprimorar a eficiência da extração, aumentando a permeabilidade da membrana celular, um fator crucial para o sucesso do processo (Tiwari,2015)

Portanto, este estudo tem como objetivo investigar os efeitos do pré-tratamento com ultrassom na extração de óleos essenciais das folhas de alecrim, com foco específico no tempo de tratamento. Ao compreender como o tempo de sonicação influencia a eficiência e o rendimento da extração, podemos melhorar os processos de produção de óleos essenciais de alecrim, maximizando seu potencial terapêutico e industrial.

2 Metodologia

As folhas de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.) foram adquiridas de um produtor local de produtos agrícolas e foram cuidadosamente selecionadas para

garantir a qualidade e uniformidade. Antes de serem utilizadas nos experimentos, as folhas foram lavadas com água corrente para remover quaisquer impurezas superficiais e, em seguida, submetidas a um processo de sanitização. Este processo envolveu a imersão das folhas em uma solução à base de hipoclorito de sódio (150 ppm/10 min). Após a sanitização, as folhas foram enxaguadas com água destilada para remover qualquer resíduo da solução e foram cuidadosamente secas em papel absorvente antes de serem utilizadas nas etapas seguintes.

2.1 Aplicação do pré-tratamento de ultrassom

As folhas de alecrim foram submetidas a uma etapa de pré-tratamento com ultrassom utilizando um banho ultrassônico com termostato (Unique, modelo USC-2850A, Brasil) sem agitação mecânica, frequência de 25 kHz, intensidade de 4870 W m^{-2} e temperatura de $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Para isso, as folhas foram colocadas em um recipiente contendo água destilada na proporção (1:10, folha:água). O pré-tratamento foi realizado em diferentes tempos de exposição, especificamente 20 e 30 min. Após cada tempo de pré-tratamento, as folhas foram cuidadosamente removidas e secas em papel absorvente. Esse procedimento foi repetido em triplicata.

2.2 Liofilização das folhas pré-tratadas

As folhas de alecrim com e sem pré-tratamento foram submetidas a uma etapa de liofilização. Para isso, as folhas previamente foram congeladas em nitrogênio líquido ($-196 \text{ }^\circ\text{C}$) e submetidas ao processo de liofilização ($-55^\circ\text{C}/48 \text{ hs}$) utilizando um liofilizador de bancada (SL-404/AQ-B, Solab, Brasil). Após o processo de liofilização as folhas secas foram moídas em moinho de facas e peneiradas em peneiras de #16mesh e armazenadas em embalagens laminadas.

2.3 Extração do óleo essencial

O processo de extração do óleo essencial das folhas de alecrim obtida em cada condição descrita anteriormente, foi realizado por hidrodestilação de acordo com metodologia proposta por Shaw et al. (2023). A extração foi realizada durante 2 h a uma temperatura de $100 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ utilizando um aparelho tipo

Clevenger. O Sulfato de sódio anidro foi adicionado à extração para remover a água, em seguida, o óleo obtido foi armazenado em temperatura fria de 4 °C para uso futuro. A Tabela 1, apresenta as codificações das amostras.

Tabela 1 – Codificação e descrição das amostras de óleo essencial das folhas de alecrim.

Amostras	Descrição
OE1	Óleo essencial controle, extraído das folhas sem pré-tratamento com ultrassom
OE2	Óleo essencial, extraído das folhas submetidas ao pré-tratamento com ultrassom por 20 min
OE3	Óleo essencial, extraído das folhas submetidas ao pré-tratamento com ultrassom por 30 min

2.4 Rendimento de extração

O rendimento de extração foi calculado entre a relação de óleo essencial extraído e a massa das folhas de alecrim em pó utilizada inicialmente.

2.5 Compostos fenólicos totais

Foi preparada uma concentração de 10 mg/ml para óleo essencial (metanol para óleo essencial como solvente). Em seguida, 0,5 ml de óleo essencial foram cuidadosamente misturados com 2,5 ml de reagente fenol Folin-Ciocalteu (10 ml/100 ml de volume total) e 2 ml de carbonato de sódio (7,5 g/100 ml de água) mantidos por 30 min em local escuro. A absorvância foi lida a 765 nm em espectrofotômetro modelo SP-2000 UV (Spectrum, Shanghai, China). Os resultados foram obtidos foram expressos em miligramas de gálico ácido (GAE) por 100 g da amostra (mg GAE/100 g) (Ghazanfari et al., 2023).

2.6 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) foi determinada de acordo com o método descrito por Salaria et al. (2023). Os valores de absorvância dos

ensaios DPPH, ABTS e FRAP foram registrados em espectrofotômetro modelo SP-2000 UV (Spectrum, Shanghai, China) em 515, 734 e 593 nm, respectivamente. Os resultados dos ensaios DPPH e ABTS foram expressos como micromole de equivalentes de Trolox (TE) por g de material ($\mu\text{M TE/g}$) com uma curva de calibração padrão previamente determinada (25-800 mM Trolox). Para o método FRAP, os resultados foram expressos em micromoles de Fe_2SO_4 por g de material ($\mu\text{M Fe}_2\text{SO}_4/\text{g}$) utilizando calibração externa construída com sulfato ferroso (100-2000 $\mu\text{mol/L}$).

2.7 Atividade antimicrobiana

A atividade antimicrobiana contra bactérias e fungos foi inicialmente avaliada usando um ensaio de difusão em ágar. Culturas bacterianas e fúngicas padronizadas (100 μL) foram espalhadas uniformemente em placas, usando cotonetes estéreis. As placas bacterianas foram incubadas a 37°C por 24 h e as placas fúngicas foram incubadas a 25°C por 48 h. O diâmetro das zonas de inibição (mm) foi medido pós-incubação (Mukurumbira et al., 2024).

2.8 Análise estatística

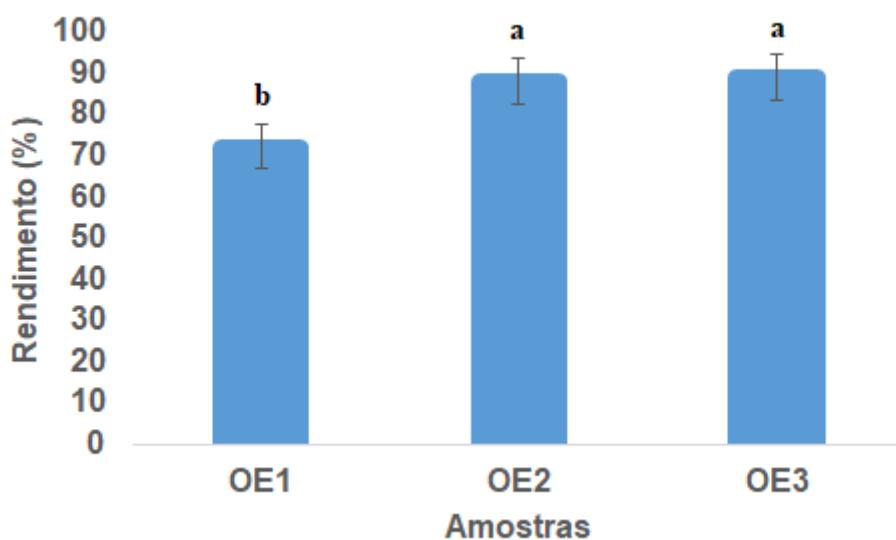
Todos os testes foram realizados em três repetições. Uma análise de variância (ANOVA) foi utilizada para análise estatística e a comparação de médias foi realizada pelo teste de *Tukey* com nível de confiança de $p < 0,05$ utilizando o software SPSS versão 16. A matriz de correlação de Pearson foi obtida através do software JASP (Version 0.18. 1).

3 Resultados e discussões

A Figura 1 apresenta o rendimento de extração de óleo essencial das folhas de alecrim submetidas ao tratamento de ultrassom em diferentes tempos de exposição. Os resultados revelaram que o óleo essencial extraído sem pré-tratamento ultrassônico (OE1) apresentou um rendimento de 72,25%, enquanto os óleos essenciais obtidos após 20 minutos (OE2) e 30 minutos (OE3) de tratamento ultrassônico demonstraram rendimentos mais elevados, com 88,15% e 89,06%, respectivamente. Curiosamente, não houve diferença significativa entre os rendimentos de extração dos óleos essenciais OE2 e OE3 ($p > 0,05$). Isso sugere que um aumento no tempo de ultrassom além de certo ponto pode

não resultar em um aumento significativo no rendimento da extração, indicando um efeito de saturação ou de otimização do processo.

Figura 1 – Rendimento de extração de óleo essencial das folhas de alecrim submetidas ao tratamento de ultrassom.



Legenda: Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística significativa.

Durante o pré-tratamento ultrassônico, as ondas ultrassônicas geram cavitação, criando bolhas microscópicas que implodem violentamente quando atingem regiões de alta pressão, causando turbulência e agitação no meio. Esses eventos mecânicos facilitam a ruptura das células vegetais e das estruturas celulares das folhas de alecrim, aumentando assim a liberação dos componentes voláteis (Qiu et al., 2020). Esse comportamento também foi observado e relatado por Jadhav et al. (2023) ao estudarem a hidrodestilação assistida por ultrassom para extração de óleo essencial de botões de cravo.

A Tabela 2 apresenta os valores dos compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante, avaliada pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP, dos óleos essenciais das folhas de alecrim submetidas ao tratamento de ultrassom. Observou-se uma variação nos valores dos compostos fenólicos totais, com valores na faixa de 42.16 a 67.05 mg GAE/100g, entre as amostras OE1 e OE2. Notavelmente, foi observado um aumento significativo nos valores dos

compostos fenólicos totais quando o pré-tratamento ultrassônico foi aplicado e o tempo de tratamento foi aumentado de 20 para 30 min. Essa observação sugere que o pré-tratamento ultrassônico aplicado nas folhas de alecrim antes da extração do óleo essencial, pode ter facilitado a liberação e extração dos compostos fenólicos, resultando em valores mais elevados de compostos fenólicos totais nos óleos essenciais extraídos.

Tabela 2 – Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) dos óleos essenciais das folhas de alecrim submetidas ao tratamento de ultrassom.

Parâmetros	OE1	OE2	OE3
Compostos fenólicos (mg GAE/100g)	42,16±1,25c	65,73±0,41b	67,05±0,69a
DPPH (µM TE/g)	5,29±0,63b	7,22±0,95a	8,47±0,33a
ABTS (µM TE/g)	8,44±0,23b	9,52±0,19a	10,24±0,75a
FRAP (µMFe ₂ SO ₄ /g)	1,33±0,14b	1,96±0,34a	2,07±0,21a

Legenda: letras iguais na mesma linha, não apresentam diferença estatística significativa entre as amostras.

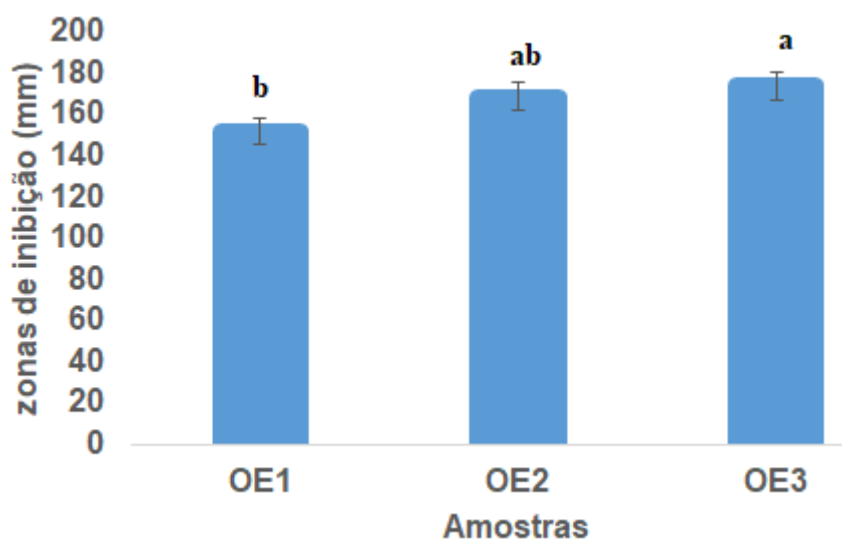
Os valores obtidos para a atividade antioxidante dos óleos essenciais das folhas de alecrim, avaliados pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP, demonstraram variações significativas entre as amostras controle (OE1) e pré-tratadas (OE2 e OE3). Em todos os métodos de avaliação, os valores de atividade antioxidante aumentaram conforme o tempo de pré-tratamento ultrassônico foi prolongado, indicando uma melhora potencial na capacidade antioxidante dos óleos essenciais extraídos. Especificamente, as amostras OE2 e OE3 apresentaram os maiores valores de atividade antioxidante em comparação com OE1, sugerindo que o pré-tratamento ultrassônico contribuiu para uma maior liberação e extração de compostos antioxidantes das folhas de alecrim. Além disso, os valores da atividade antioxidante foram fortemente correlacionais com os valores de compostos fenólicos totais, conforme apresentado na Tabela 3 para a correlação de Pearson ($r > 0,9$).

Tabela 3 – Correlações de Pearson dos parâmetros avaliados nos óleos essenciais das folhas de alecrim submetidas ao tratamento de ultrassom.

Parâmetros		r de Pearson	p
Rendimento	- Compostos fenólicos	1.000	< .001
Rendimento	- DPPH	0.938	0.224
Rendimento	- ABTS	0.936	0.229
Rendimento	- FRAP	0.996	0.057
Rendimento	- Atividade antimicrobiana	0.986	0.108
Compostos fenólicos	- DPPH	0.938	0.225
Compostos fenólicos	- ABTS	0.935	0.230
Compostos fenólicos	- FRAP	0.996	0.058
Compostos fenólicos	- Atividade antimicrobiana	0.985	0.109
DPPH	- ABTS	1.000	0.005
DPPH	- FRAP	0.966	0.167
DPPH	- Atividade antimicrobiana	0.983	0.116
ABTS	- FRAP	0.964	0.172
ABTS	- Atividade antimicrobiana	0.982	0.121
FRAP	- Atividade antimicrobiana	0.997	0.051

A Figura 2 apresenta a atividade antimicrobiana dos óleos essenciais das folhas de alecrim submetidos ao tratamento de ultrassom.

Figura 2 - Atividade antimicrobiana dos óleos essenciais das folhas de alecrim submetidas ao tratamento de ultrassom.



Legenda: Barras com letras iguais não apresentam diferença estatística significativa.

Os resultados da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais das folhas de alecrim, conforme indicado pelas zonas de inibição de crescimento microbiano, mostraram um aumento progressivo (152 -174 mm) da eficácia

antimicrobiana com o aumento do tempo de pré-tratamento ultrassônico. Especificamente, as amostras OE2 e OE3 apresentaram zonas de inibição significativamente maiores em comparação com OE1, sugerindo uma maior atividade antimicrobiana induzida pelo pré-tratamento ultrassônico. Essa observação destaca o potencial do pré-tratamento ultrassônico como uma estratégia eficaz para melhorar a atividade antimicrobiana dos óleos essenciais de alecrim, o que pode ter implicações importantes na aplicação desses óleos como agentes antimicrobianos em diversas áreas, incluindo a indústria farmacêutica e de alimentos.

4 Considerações finais

Os resultados deste estudo destacam o potencial do pré-tratamento ultrassônico como uma estratégia eficaz para melhorar a eficiência da extração de óleos essenciais de alecrim, resultando em rendimentos mais elevados e uma maior concentração de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante nos óleos essenciais extraídos. Além disso, o aumento da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais submetidos ao pré-tratamento ultrassônico ressalta a importância dessa técnica como uma abordagem promissora para a produção de agentes antimicrobianos naturais. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de mais estudos para investigar os efeitos do pré-tratamento ultrassônico em outras propriedades dos óleos essenciais, bem como explorar possíveis aplicações práticas desses óleos em diferentes contextos industriais.

5 Referências

Brandt, C. C., Lobo, V. S., Fiametti, K. G., Wancura, J. H., Oro, C. E., & Oliveira, J. V. (2023). Rosemary essential oil microemulsions as antimicrobial and antioxidant agent in tomato paste. *Food Chemistry Advances*, 2, 100295.

Ghazanfari, N., Yazdi, F. T., Mortazavi, S. A., & Mohammadi, M. (2023). Using pulsed electric field pre-treatment to optimize coriander seeds essential oil extraction and evaluate antimicrobial properties, antioxidant activity, and essential oil compositions. *LWT*, 182, 114852.

Jadhav, J. J., Jadeja, G. C., & Desai, M. A. (2023). Ultrasound-assisted hydrodistillation for extraction of essential oil from clove buds—A step towards process improvement and sustainable outcome. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 189, 109404.

Kedir, S., Tamiru, M., Tadese, D. A., Takele, L., Mulugeta, M., Miresa, A., ... & Burton, E. (2023). Effect of rosemary (*Rosmarinus officinalis*) leaf meal supplementation on production performance and egg quality of laying hens. *Heliyon*, 9(8).

Li, Z., Xu, Y., Liu, Y., Kong, M., Ma, K., Wang, J., ... & Zhao, Y. (2024). Ultrasonic pretreatment combined with microwave-assisted hydrodistillation for the situ extraction of essential oil from *Pinus koraiensis* seed scales induced by tea saponin: Functional activity, composition, thermal stability and material characterization. *Industrial Crops and Products*, 210, 118191.

Mukurumbira, A. R., Shellie, R. A., Keast, R., Palombo, E. A., Shah, R., Muir, B. W., ... & Jadhav, S. R. (2024). Preparation, physicochemical characterisation and assessment of liquid and vapour phase antimicrobial activity of essential oil loaded lipid nanoparticles. *LWT*, 191, 115624.

Qiu, L., Zhang, M., Chitrakar, B., & Bhandari, B. (2020). Application of power ultrasound in freezing and thawing Processes: Effect on process efficiency and product quality. *Ultrasonics sonochemistry*, 68, 105230.

Salaria, D., Rolta, R., Fadare, O. A., Fadare, R. Y., Guleria, S., Lal, U. R., & Kumar, V. (2023). In silico and in vitro antioxidant potential of *Thymus serpyllum* L. essential oil. *Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine*, 8, 100280.

Shaw, D., Tripathi, A. D., Paul, V., Agarwal, A., Mishra, P. K., & Kumar, M. (2023). Valorization of essential oils from citrus peel powder using hydro-distillation. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 32, 101036.

Sun, M., Zhuang, Y., Gu, Y., Zhang, G., Fan, X., & Ding, Y. (2024). A comprehensive review of the application of ultrasonication in the production and processing of edible mushrooms: Drying, extraction of bioactive compounds, and post-harvest preservation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 102, 106763.

Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100-109.

Wu, H., Jiang, X., Dong, Z., Fan, Q., Huang, J., Liu, H., ... & Ming, L. (2024). New insights into the influence of encapsulation materials on the feasibility of ultrasonic-assisted encapsulation of *Mosla chinensis* essential oil. *Ultrasonics Sonochemistry*, 103, 106787.

Zhao, H., Ren, S., Yang, H., Tang, S., Guo, C., Liu, M., ... & Xu, H. (2022). Peppermint essential oil: Its phytochemistry, biological activity, pharmacological effect and application. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 154, 113559.



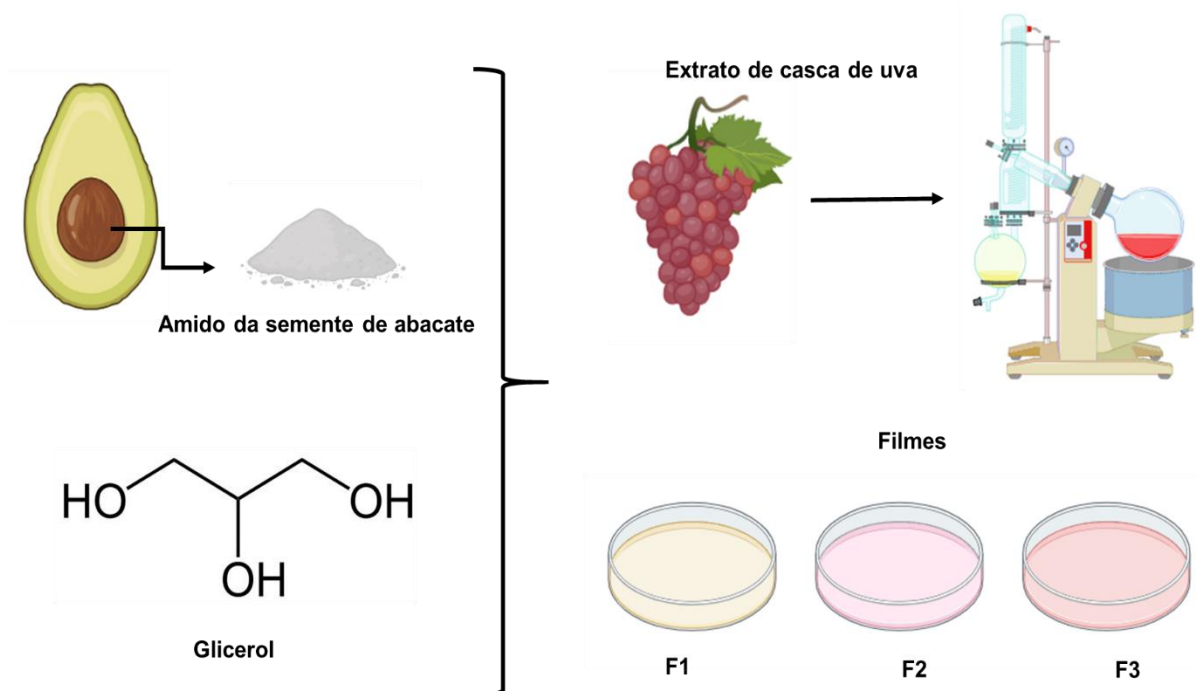
CARACTERIZAÇÃO FÍSICA, FUNCIONAL E ESTRUTURAL DE FILMES BIODEGRADÁVEIS PRODUZIDOS COM AMIDO DE ABACATE E EXTRATO DA CASCA DE UVA

DPPH, ABTS, FRAP E DRX

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

A necessidade de reduzir a dependência dos plásticos convencionais e melhorar a sustentabilidade das embalagens de alimentos é um imperativo cada vez mais urgente na atualidade (Venezia et al., 2024). Nesse sentido, o desenvolvimento de materiais sustentáveis para embalagens assume um papel crucial não apenas na preservação do meio ambiente, mas também na garantia da qualidade dos alimentos e na mitigação do impacto ambiental associado aos produtos embalados (Frangopoulos et al., 2023). Diante desse desafio, pesquisas tem se voltado para a busca de alternativas ecoamigáveis, impulsionando o avanço dos materiais biodegradáveis, especialmente os filmes produzidos a partir de fontes naturais. Esses filmes têm despertado considerável interesse devido às suas propriedades promissoras, que aliam baixo impacto ambiental a um desempenho funcional satisfatório (Cejudo et al., 2023).

Dentre os múltiplos biopolímeros disponíveis, o amido é reconhecido como um dos mais promissores para ser aplicado na produção de materiais de embalagem, pois é totalmente biodegradável, não tóxico, abundantemente disponível, possui baixo custo e capacidade de ser convertido em um material bioplástico (Jiang et al., 2020). No entanto, a exploração de novas fontes de

amido para a produção de filmes biodegradáveis é essencial para ampliar a disponibilidade desses materiais e reduzir a dependência de fontes tradicionais.

Considerando o contexto da agroindústria, é importante ressaltar que o alto consumo de produtos agrícolas pode resultar em uma maior geração de resíduos e emissões, intensificando os impactos ambientais associados ao setor. No Brasil, um dos principais produtores agrícolas do mundo, a indústria de processamento de frutas contribui significativamente para a produção de resíduos agroindustriais, com uma parcela substancial desses resíduos sendo descartada no meio ambiente (Martins et al., 2022). Dentre os resíduos agroindustriais gerados, as cascas de uva se destacam como uma fonte abundante e significativa de subprodutos. No processo de produção de vinho e suco de uva, as cascas são separadas durante o esmagamento das uvas e, muitas vezes, descartadas como resíduo. Essas cascas contêm uma variedade de compostos bioativos, como polifenóis, antocianinas e flavonoides, que conferem propriedades antioxidantes e antimicrobianas (Cañadas et al., 2024; Zhao et al., 2023).

Ao utilizar extratos provenientes das cascas de uva na produção de filmes biodegradáveis, não apenas se aproveita um resíduo que seria descartado, mas também se incorporam esses compostos bioativos aos materiais, conferindo-lhes propriedades funcionais adicionais. Diante desse cenário, este estudo visa desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis utilizando como matérias-primas o amido proveniente da semente de abacate, o glicerol como plastificante e o extrato da casca de uva como agente funcional.

2 Metodologia

2.1 Materiais

Sementes de abacate (*Persea americana*) e cascas de uva (*Vitis vinifera* L.) foram fornecidos por uma cooperativa de processamento de polpas de frutas localizada no estado da Paraíba, Brasil. Glicerol (ACS científica) foi adquirido no comércio local.

2.2 Obtenção do amido da semente de abacate

O amido da semente de abacate foi obtido de acordo com o protocolo experimental proposto por Adebawale et al. (2005), utilizando uma solução de

metabissulfito de sódio (0,2%) e posterior secagem da suspensão em estufa com circulação de ar na temperatura de 50 °C durante 8 horas.

2.3 Obtenção do extrato da casca de uva

Para a obtenção do extrato hidroalcólico das cascas de uva, o processo iniciou-se com a lavagem e sanitização meticulosa das cascas, visando remover qualquer vestígio de sujeira ou impurezas superficiais. Em seguida, as cascas foram submetidas a um processo de secagem em estufa com circulação de ar a uma temperatura de 60 °C, até atingirem um teor de umidade de equilíbrio. Após a secagem, as cascas foram moídas em um moinho de facas e o material resultante foi armazenado em embalagens laminadas de alta densidade para preservar sua integridade.

A preparação da solução extrativa iniciou-se com a adição de etanol a 70% nas cascas trituradas, seguindo uma proporção estabelecida entre sólidos e líquidos (razão 1:10). A mistura foi então submetida a uma agitação constante a uma velocidade de 200 rpm por um período de 1 hora. Após a etapa de agitação, a solução obtida foi filtrada utilizando papel de filtro para remover quaisquer sólidos indesejados. Posteriormente, a solução extrativa hidroalcólica foi submetida a um processo de evaporação utilizando um evaporador rotativo sob vácuo e temperatura controlada a 45 °C. O extrato obtido foi utilizado no desenvolvimento dos filmes.

2.4 Desenvolvimento dos filmes biodegradáveis

Para desenvolvimento dos filmes utilizou-se a técnica de casting. Para isso, inicialmente, 2,5 g de amido da semente de abacate foram dispersos em 50 mL de água deionizada e agitados vigorosamente por um período de 30 min a uma temperatura de 95 °C. Em seguida, adicionou-se 0,75 g de glicerol à mistura e o processo de agitação foi mantido por mais 30 min, enquanto o sistema foi resfriado até atingir uma temperatura de 50°C. Após o resfriamento, foram adicionados extratos das cascas de uva em concentrações de 1% e 3%, e a mistura foi homogeneizada a uma velocidade de 10.000 rotações por 1 minuto. Em seguida, 20 mL dessa solução foram despejados em uma placa de Petri e submetidos a um processo de secagem a 4 5°C por um período de 48 hs.

2.5 Espessura

A espessura dos filmes foi determinada usando um micrômetro digital com uma precisão de 0,001 mm.

2.6 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água dos filmes foi determinada de acordo com metodologia proposta por Mora-Palma et al. (2022), e calculada pela Equação 2. Os resultados expressos em g.mm/m².h. kPa.

$$WVP = \frac{\left(\frac{C_i}{A}\right) \cdot X}{P_s \cdot (UR_1 - UR_2)} \quad (2)$$

Em que: WVP é a permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m².h. kPa); Ci é a inclinação da reta gerada pela perda de peso do sistema em função do tempo; A é a área do filme (m²); X é a espessura (mm); Ps, é a saturação do vapor de água a 25 °C (22mmHg); UR₁, é a umidade relativa da câmara (0%) e UR₂, é a umidade relativa dentro da cápsula (100%)

2.7 Resistência à tração e alongamento na ruptura

As propriedades mecânicas dos filmes foram medidas usando um analisador de textura (TA-XT plus, Stable Micro Systems, UK) e incluíram a resistência à tração e o alongamento na ruptura. O comprimento de referência inicial foi de 40 mm e a taxa de alongamento foi de 1 mm/s.

2.8 Fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante

O teor de fenólicos totais foi determinado utilizando o método de Singleton et al. (1999). As antocianinas totais foram determinadas pelo método espectrofotométrico diferencial de pH segundo Muñoz-Fariña et al. (2023). Os ensaios de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), 2,2-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS) foram realizados para medir a atividade antioxidante de acordo com os métodos descritos por Thaipong et al. (2006).

2.9 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Os fragmentos do filme foram montados em uma platina de metal usando adesivo condutor e revestidos com ouro para aumentar sua condutividade. As morfologias superficiais das amostras foram observadas usando um microscópio eletrônico de varredura (VEGA3 TESCAN) a uma tensão de aceleração de 5 kV e uma ampliação de 500x.

2.10 Difração de raio-X (DRX)

Os padrões de difração dos filmes foram observados utilizando o difratômetro de raios-X (XRD-7000, Shanghai Drawel Scientific Instrument Co., Ltd., China). O difratômetro foi operado em ângulo de Bragg 2θ na faixa de 10-35° e configurações do gerador de 40 KV e 40 mA.

2.8 Análise estatística

Todos os testes foram realizados em três repetições. A análise de variância unidirecional (ANOVA) foi realizada pelo pacote de software SPSS 16.0. A diferença foi considerada estatisticamente significativa se $p < 0,05$.

3 Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta as propriedades físicas e mecânicas dos filmes biodegradáveis produzidos a partir de amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva. Observou-se um aumento significativo na espessura dos filmes com a adição de extrato da casca de uva, variando de 170 μm a 177 μm entre as amostras F1 e F3. Este resultado indica que a incorporação do extrato influenciou diretamente a estrutura dos filmes, contribuindo para o aumento da espessura. No entanto, não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre os filmes sem extrato (F1) e aqueles com 1% de extrato de uva, sugerindo que a variação na concentração do extrato teve uma influência limitada na espessura final dos filmes.

Tabela 1 – Propriedades físicas e mecânicas dos filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva.

Parâmetros	F1	F2	F3
Espessura (μm)	170 \pm 2,10b	172 \pm 1,66b	177 \pm 3,19a

Permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m ² .h. kPa)	4,15±0,10a	4,22 ±0,02a	4,29 ±0,06a
Resistência à tração (MPa)	9,38±0,04c	10,55±0,06b	10,74±0,11a
Alongamento na ruptura (%)	35,31±1,96a	37,19±3,27a	37,65±2,15a

Legenda: F1: filme sem extrato da casca de uva; F2: filme com 1% do extrato da casca de uva e F3: filme com 3% do extrato da casca de uva; letras iguais na mesma linha, não apresentam diferença estatística significativa entre as amostras.

A análise da permeabilidade ao vapor de água dos filmes biodegradáveis (Tabela 1) revelou valores semelhantes entre as amostras, com médias de 4,15±0,10 g.mm/m².h.kPa para F1, 4,22±0,02 g.mm/m².h.kPa para F2 e 4,29±0,06 g.mm/m².h.kPa para F3. Esses resultados sugerem que a adição de extrato da casca de uva não teve um efeito significativo na permeabilidade ao vapor de água dos filmes ($p>0.05$). Isso indica que a incorporação do extrato não afetou a capacidade dos filmes de permitir a passagem de vapor de água, mantendo assim suas propriedades de barreira, o que é crucial para a preservação da qualidade e durabilidade dos alimentos embalados.

Os valores de resistência à tração dos filmes biodegradáveis apresentados na Tabela 1, revelou um aumento progressivo na resistência à medida que a concentração de extrato da casca de uva aumentou. Os filmes sem extrato (F1) apresentaram uma resistência à tração de 9,38 MPa, enquanto os filmes com 1% de extrato (F2) demonstraram uma resistência significativamente maior, atingindo 10,55 MPa, e os filmes com 3% de extrato (F3) exibiram a maior resistência, com 10,74 MPa. Esses resultados sugerem que a adição de extrato da casca de uva contribuiu para melhorar a resistência dos filmes, possivelmente devido à interação entre os componentes do extrato e a matriz de amido-glicerol. Essa melhoria na resistência é um aspecto positivo, pois pode aumentar a durabilidade e a eficácia dos filmes em aplicações de embalagens.

Com relação a propriedade de alongamento na ruptura, os resultados revelaram que a adição de extrato da casca de uva não influenciou significativamente essa propriedade, com valores na faixa de 35,31 a 37,65%, entre as amostras F1 e F3. Esses resultados indicam que a incorporação do extrato da casca de uva não alterou a capacidade dos filmes de se deformarem

antes da ruptura, mantendo assim sua flexibilidade e ductilidade. Isso sugere que os filmes permaneceram adequados para aplicações de embalagens, oferecendo resistência suficiente à tração sem comprometer sua capacidade de se adaptarem às deformações durante o manuseio e armazenamento dos produtos embalados.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante (ABTS e DPPH) tanto para o extrato da casca de uva quanto para os filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva, fornecendo uma avaliação abrangente do potencial antioxidante desses materiais.

Tabela 2 – Compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante (ABTS e DPPH) do extrato da casca de uva e dos filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva.

Parâmetros	Extrato	F1	F2	F3
Compostos fenólicos (mg GAE/100g)	1096,37±10,48	-	158,45±1,51b	263,27±3,57a
Antocianinas (mg/100g)	152,18±1,52	-	32,41±0,74b	40,09±0,66a
ABTS (µM TE/g)	178,60±2,84	-	11,20±0,40b	15,03±0,23a
DPPH (µM TE/g)	275,83±1,70	-	23,92±0,18b	25,80±0,92

Legenda: F1: filme sem extrato da casca de uva; F2: filme com 1% do extrato da casca de uva e F3: filme com 3% do extrato da casca de uva; letras iguais na mesma linha, não apresentam diferença estatística significativa entre as amostras.

A análise dos compostos fenólicos revelou uma significativa presença desses compostos no extrato da casca de uva, com um teor de 1096,37±10,48 mg GAE/100g. Em contrapartida, os filmes biodegradáveis produzidos sem a adição de extrato (F1) não apresentaram traços detectáveis desses compostos. Por outro lado, os filmes contendo extrato da casca de uva demonstraram uma concentração crescente de compostos fenólicos, com valores de 158,45±1,51 mg GAE/100g para F2 e 263,27±3,57 mg GAE/100g para F3. Este aumento progressivo está em concordância com a teoria de que a adição de extrato da

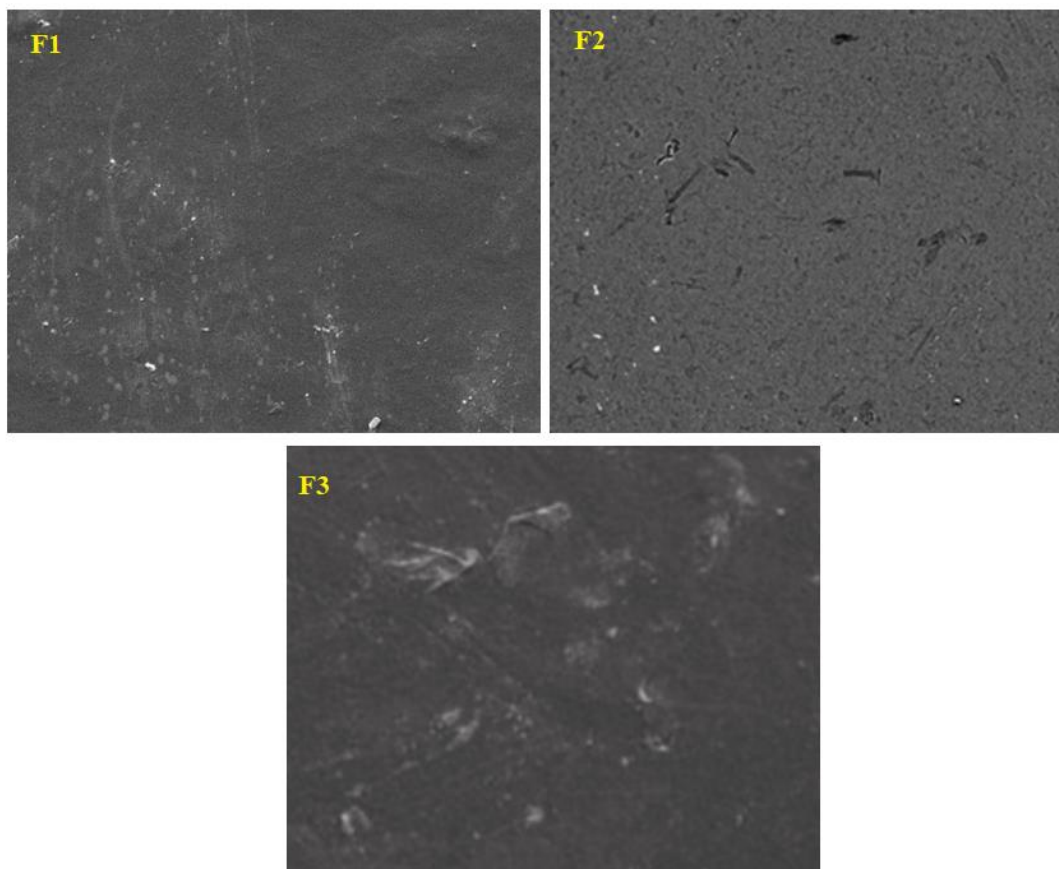
casca de uva contribui para a incorporação desses compostos nos filmes, conferindo-lhes potenciais propriedades antioxidantes e funcionais. Esse resultado sugere que os filmes biodegradáveis podem se tornar veículos promissores para a liberação controlada de compostos fenólicos, ampliando suas possíveis aplicações em embalagens ativas e funcionais.

Nos filmes biodegradáveis, a presença de antocianinas foi detectada apenas nos filmes contendo extrato da casca de uva, com valores de $32,41 \pm 0,74$ mg/100g para F2 e $40,09 \pm 0,66$ mg/100g para F3. Este declínio na concentração de antocianinas nos filmes em relação ao extrato da casca de uva ($152,18$ mg/100g) pode ser atribuído a fatores como perdas durante o processamento e interações com outros componentes da matriz do filme. No entanto, a presença desses compostos nos filmes ainda é significativa, o que pode conferir propriedades antioxidantes e potencialmente benefícios à saúde aos produtos embalados, especialmente quando destinados a alimentos sensíveis à oxidação.

A atividade antioxidante, medida pelos ensaios ABTS e DPPH, revelou valores expressivos no extrato da casca de uva, com uma atividade de $178,60 \pm 2,84$ μ M TE/g para ABTS e $275,83 \pm 1,70$ μ M TE/g para DPPH. Para o ensaio ABTS, os filmes revelaram uma atividade antioxidante de $11,20 \pm 0,40$ μ M TE/g para F2 e $15,03 \pm 0,23$ μ M TE/g para F3. Já no ensaio DPPH, os valores foram de $23,92 \pm 0,18$ μ M TE/g para F2 e $25,80 \pm 0,92$ μ M TE/g para F3. Estes resultados evidenciam um aumento na atividade antioxidante dos filmes biodegradáveis com a adição do extrato da casca de uva, com valores mais elevados observados em F3, indicando um potencial significativo para proteção contra o estresse oxidativo.

A Figura 1 apresenta as fotomicrografias superficiais dos filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva, fornecendo uma visualização detalhada da morfologia da superfície desses materiais. As imagens superficiais, com ampliação de 500x, revelaram uma superfície heterogênea e rugosa. Esse padrão morfológico pode ser atribuído à natureza dos componentes utilizados na formulação dos filmes, como o amido da semente de abacate e o extrato da casca de uva, os quais podem promover uma distribuição não uniforme dos componentes na matriz polimérica, resultando em uma superfície irregular.

Figura 1 – Fotomicrografias superficial dos filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva.

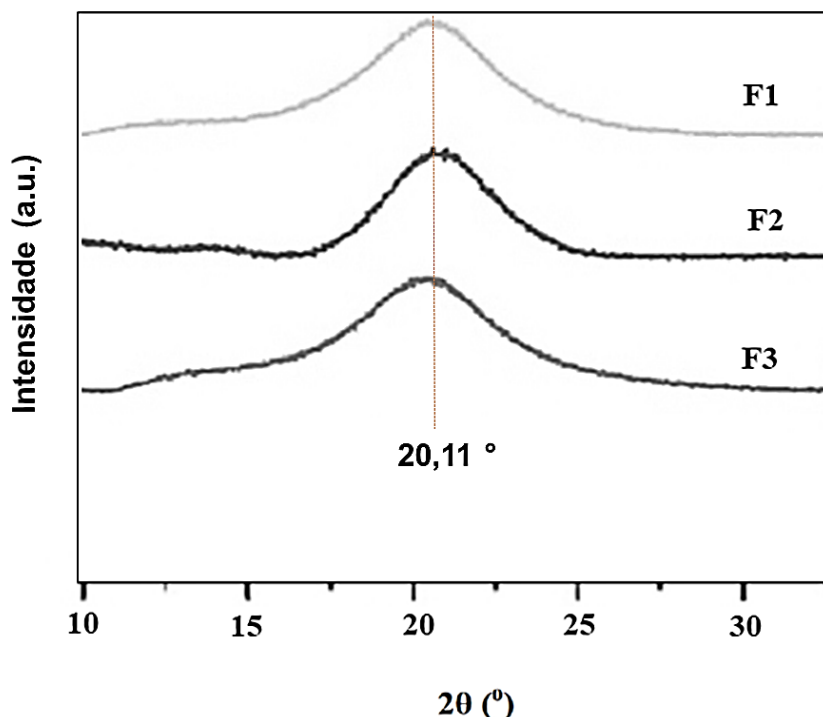


Legenda: F1: filme sem extrato da casca de uva; F2: filme com 1% do extrato da casca de uva e F3: filme com 3% do extrato da casca de uva.

Além disso, a presença de porosidades e irregularidades na superfície dos filmes pode ser influenciada pela técnica de processamento e pelas interações entre os componentes durante a formação dos filmes. Essa morfologia heterogênea pode desempenhar um papel importante em diversas aplicações, como embalagens alimentícias, proporcionando uma maior área de contato e potencialmente afetando propriedades como a permeabilidade e a adesão à superfície (Cieśła & Sartowska, 2016).

A Figura 2 apresenta os padrões de difração de raios X (DRX) dos filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva. Padrões de difração de raios X (DRX) têm sido amplamente utilizados para determinar o grau de cristalinidade e caracterizar a compatibilidade de filmes plásticos biodegradáveis (Majamo & Amibo, 2024).

Figura 2 - Difração de raios X (DRX) dos filmes biodegradáveis produzidos com amido da semente de abacate, glicerol e extrato da casca de uva.



Legenda: F1: filme sem extrato da casca de uva; F2: filme com 1% do extrato da casca de uva e F3: filme com 3% do extrato da casca de uva.

Os difratogramas das amostras de filmes revelaram a presença de um único e amplo pico de difração em torno do ângulo de $20,11^\circ$ para todas as amostras. No entanto, observou-se que a adição das diferentes concentrações do extrato da casca de uva resultou em uma redução na intensidade desse pico. Este comportamento pode ser justificado pela interação entre o extrato da casca de uva e a matriz de amido-glicerol, que pode influenciar na organização molecular e na cristalinidade dos filmes. A diminuição na intensidade do pico sugere uma possível modificação na estrutura cristalina dos filmes, indicando uma maior dispersão ou interação entre os componentes, o que pode afetar suas propriedades físicas e funcionais.

4 Considerações finais

Os filmes biodegradáveis produzidos com amido de abacate e extrato da casca de uva demonstraram propriedades físicas e funcionais promissoras,

incluindo aumento na espessura, melhoria na resistência à tração e preservação da permeabilidade ao vapor de água. Além disso, a incorporação do extrato de casca de uva enriqueceu os filmes com compostos fenólicos e antocianinas, conferindo-lhes potencial antioxidante. A morfologia heterogênea observada nas fotomicrografias superficiais sugere uma estrutura complexa que pode ser explorada para diversas aplicações em embalagens alimentícias. As análises por difração de raios X indicam uma possível modificação na estrutura cristalina dos filmes devido à presença do extrato da casca de uva. Considerando esses resultados, futuros estudos podem se concentrar na otimização das formulações dos filmes, investigando diferentes concentrações de extrato de casca de uva e métodos de processamento para melhorar ainda mais suas propriedades físicas, funcionais e antioxidantes. Além disso, o desenvolvimento de estudos de estabilidade e avaliação do desempenho dos filmes em condições reais de armazenamento e uso também é essencial para validar sua viabilidade comercial e aplicações práticas em escala industrial.

5 Referências

Adebowale, K. O., Olu-Owolabi, B. I., Kehinde Olawumi, E., & Lawal, O. S. (2005). Functional properties of native, physically and chemically modified breadfruit (*Artocarpus artilis*) starch. *Industrial crops and products*, 21(3), 343-351.

Cañadas, R., Díaz, I., Sánchez-Monedero, A., González, E. J., & González-Miquel, M. (2024). Green extraction of natural antioxidants from white grape waste using bio-renewable solvents and ultrasonic process intensification. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 196, 109644.

Cejudo, C., Ferreiro, M., Romera, I., Casas, L., & Mantell, C. (2023). Functional, Physical, and Volatile Characterization of Chitosan/Starch Food Films Functionalized with Mango Leaf Extract. *Foods*, 12(15), 2977.

Cieśla, K., & Sartowska, B. (2016). Modification of the microstructure of the films formed by gamma irradiated starch examined by SEM. *Radiation Physics and Chemistry*, 118, 87-95.

Frangopoulos, T., Marinopoulou, A., Goulas, A., Likotrafiti, E., Rhoades, J., Petridis, D., ... & Karageorgiou, V. (2023). Optimizing the functional properties of starch-based biodegradable films. *Foods*, 12(14), 2812.

Jiang, T., Duan, Q., Zhu, J., Liu, H., & Yu, L. (2020). Starch-based biodegradable materials: Challenges and opportunities. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, 3(1), 8-18.

Majamo, S. L., & Amibo, T. A. (2024). Study on extraction and characterization of anchote (*Coccinia abyssinica*) starch and reinforced enset (*Ensete ventricosum*) fiber for the production of reinforced bioplastic film. *Heliyon*, 10(1).

Martins, S. H. F., Pontes, K. V., Fialho, R. L., & Fakhouri, F. M. (2022). Extraction and characterization of the starch present in the avocado seed (*Persea americana* mill) for future applications. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100303.

Mora-Palma, R. M., Martinez-Munoz, P. E., Contreras-Padilla, M., Feregrino-Perez, A., & Rodriguez-Garcia, M. E. (2024). Evaluation of water diffusion, water vapor permeability coefficients, physicochemical and antimicrobial properties of thin films of nopal mucilage, orange essential oil, and orange pectin. *Journal of Food Engineering*, 366, 111865.

Muñoz-Fariña, O., López-Casanova, V., García-Figueroa, O., Roman-Benn, A., Ah-Hen, K., Bastias-Montes, J. M., ... & Ravanal-Espinosa, M. C. (2023). Bioaccessibility of phenolic compounds in fresh and dehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry Advances*, 2, 100171.

Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-

ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.

Thaipong, K., Boonprakob, U., Crosby, K., Cisneros-Zevallos, L., & Byrne, D. H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6-7), 669-675.

Venezia, V., Prieto, C., Verrillo, M., Grumi, M., Silvestri, B., Vitiello, G., ... & Lagaron, J. M. (2024). Electrospun films incorporating humic substances of application interest in sustainable active food packaging. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130210.

Zhao, Z., Sun, L., Sha, Z., Chu, C., Wang, Q., Zhou, D., & Wu, S. (2023). Valorisation of fresh waste grape through fermentation with different exogenous probiotic inoculants. *Heliyon*, 9(6).



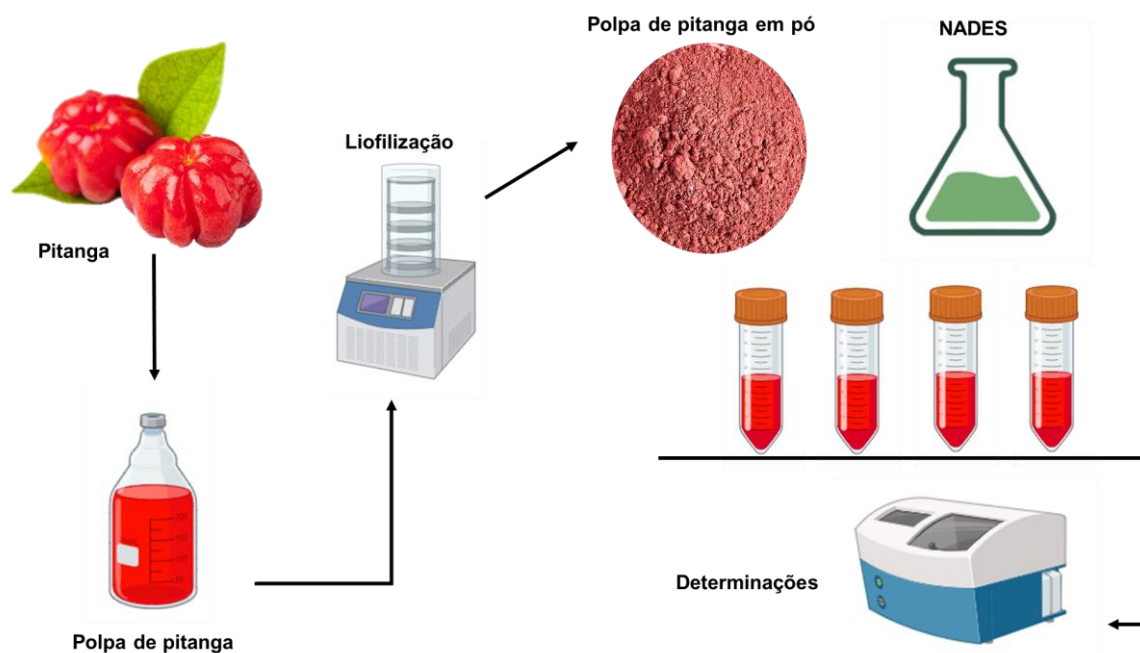
DETERMINAÇÃO DO POTENCIAL ANTIOXIDANTE DA POLPA DE PITANGA LIOFILIZADA UTILIZANDO SOLVENTES EUTÉTICOS PROFUNDO

NADES

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS
DANISE MEDEIROS VIEIRA

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

A pitanga, fruto da pitangueira, é uma preciosidade originária do Brasil, conhecida também como cereja brasileira ou cereja do Suriname, devido à sua rica coloração vermelha. Geralmente, os frutos da pitanga têm formato de baga e apresentam de 8 a 10 sulcos longitudinais na casca. São compostos por 77% de polpa e 23% de sementes e possuem sabor doce e ácido único com aroma intenso. A fruta pitanga pode ser consumida crua ou utilizada em sucos, sorvetes, doces, licores e geleias (Fidelis et al., 2022; Pereira et al., 2024).

Além de sua apreciada doçura ácida e aroma intenso, a pitanga destaca-se pelo seu potencial bioativo, oferecendo uma gama de compostos fenólicos, carotenoides e vitamina C. Estes componentes, especialmente os compostos fenólicos, têm suscitado grande interesse devido aos seus efeitos benéficos à saúde (Silva Júnior et al., 2021). Os compostos fenólicos, metabólitos secundários encontrados em plantas, são abundantemente presentes na pitanga. Estes incluem uma variedade de moléculas, como ácidos fenólicos, flavonoides, isoflavonas e outros, conhecidos por sua atividade antioxidante e potenciais benefícios para a saúde humana (Yang et al., 2022).

A utilização de solventes eutéticos profundos (SEP) emerge como uma abordagem eficaz na extração destes compostos fenólicos da matriz alimentar da pitanga. Os SEP, compostos por uma combinação de moléculas que podem agir como doadores ou aceitadores de ligações de hidrogênio, oferecem uma alternativa promissora aos solventes orgânicos tradicionais. Estas misturas, quando compostas por componentes naturais, são denominadas solventes eutéticos profundos naturais (NADES), caracterizando-se por sua baixa toxicidade, biodegradabilidade e segurança ambiental (Della Posta et al., 2022; Della Posta et al., 2023; Yi et al., 2024).

A busca por solventes alternativos, como os NADES, está alinhada aos princípios de sustentabilidade e práticas "verdes", buscando reduzir o impacto ambiental e promover a segurança dos processos industriais. Além disso, estes solventes oferecem vantagens significativas, como facilidade de obtenção, baixo custo, reciclabilidade e compatibilidade com processos biotecnológicos (Yi et al., 2024). Neste contexto, este estudo se propõe a investigar o potencial antioxidante da polpa de pitanga liofilizada utilizando solventes eutéticos profundos, contribuindo assim para o desenvolvimento de estratégias sustentáveis na indústria alimentar e para a valorização dos recursos naturais brasileiros.

2 Metodologia

2.1 Liofilização da polpa de pitanga

Pitangas vermelhas (*Eugenia uniflora*) adquiridas no comércio local foram lavadas e higienizadas em solução de hipoclorito de sódio a 100ppm/15 min. Os frutos sanitizados passaram pelo processo de despulpamento utilizando uma despulpadeira de frutas (Mundinox). A polpa obtida foi disposta em bandejas metálicas e submetidas a uma etapa de congelamento em ultra-frezer a -80 °C por 24hs. Após congelamento, as polpas congeladas foram submetidas ao processo de liofilização (-55 °C/48 hs) utilizando um liofilizador de bancada (SL-404/AQ-B, Solab, Brasil). Após o processo de liofilização as polpas secas foram moídas em moinho de facas e armazenadas em embalagens laminadas.

2.2 Preparação de solvente eutético profundo natural (NADES)

A preparação do NADES foi realizada de acordo com o procedimento experimental proposto por Freitas et al. (2022). Um líquido estável, homogêneo e transparente foi criado por agitação magnética da mistura a 70°C. Os NADES sintetizados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes usados para produção dos NADES.

Codificação	Reagentes	Razão molar
P1	Ácido láctico/glicose	3:1
P2	Ácido láctico/manitol	3:1
P3	Betaína/glicerol	1:2
P4	Betaína/glicose	1:2

2.3 Procedimento de extração

Uma extração assistida por ultrassom foi realizada. Para isso, utilizou-se 5 g polpa de pitanga liofilizada, 5 mL de solvente de extração (NADES). A mistura foi colocada em banho ultrassônico (Unique, modelo USC-2850A, Brasil) a 55 °C, frequência de 37 kHz e potência térmica de 200 W, por 120 min (retirando alíquotas em intervalos regulares de 20 min). O tubo foi centrifugado a 5000 rpm durante 5 min e o extrato foi recuperado.

2.4 Capacidade antioxidante total

A capacidade antioxidante total de todas as amostras, foi determinada pela oxidação de compostos fenólicos utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu. Cerca de 200 µL de extrato foram colocados em um tubo de ensaio, em seguida foram adicionados 600 µL de solução de Folin-Ciocalteu diluída dez vezes, após 6 min 450 µL de carbonato de sódio a 7,5% A solução foi adicionada e após 60 min a absorbância foi medida a 756 nm. O ácido gálico foi usado como solução padrão e os resultados foram expresso em mg GAE/100g.

2.5 Atividade antioxidante por DPPH e ABTS

A atividade antioxidante dos extratos foi avaliada pela atividade eliminadora de radicais 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), atividade eliminadora de radicais 2,2-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico (ABTS).

2.5.1 Ensaio DPPH

O ensaio DPPH foi realizado utilizando o método relatado por Akdaş Bakkalbaşı (2016). A solução estoque do radical DPPH foi preparada diariamente. Resumindo, 5 mL de solução metanólica de DPPH 0,1 mM foram adicionados em 0,1 do extrato da amostra. A mistura reacional foi agitada com um vortex, que foi mantido no escuro em temperatura ambiente por 20 min. A absorbância foi determinada com espectrofotômetro UV-Vis a 517 nm.

2.5.2 Ensaio ABTS

O ensaio ABTS foi realizado conforme procedimento descrito por Akdaş Bakkalbaşı (2016). Resumidamente, volumes iguais de solução stock de ABTS 7 mM e soluções de persulfato de potássio 2, 45 mM foram misturados (12-16 h, no escuro, à temperatura ambiente). Antes da utilização, a solução armazenada de ABTS foi diluída com metanol para obter uma absorvância de $0,7 \pm 0,02$ a 734 nm. Para a medição de ABTS, 1,98 mL de solução diluída de ABTS foram transferidos para 0,02 mL de extrato. A mistura foi agitada com um misturador vortex e incubada no escuro à temperatura ambiente durante 6 min. A absorbância foi lida a 734 nm usando um espectrofotômetro UV-Vis.

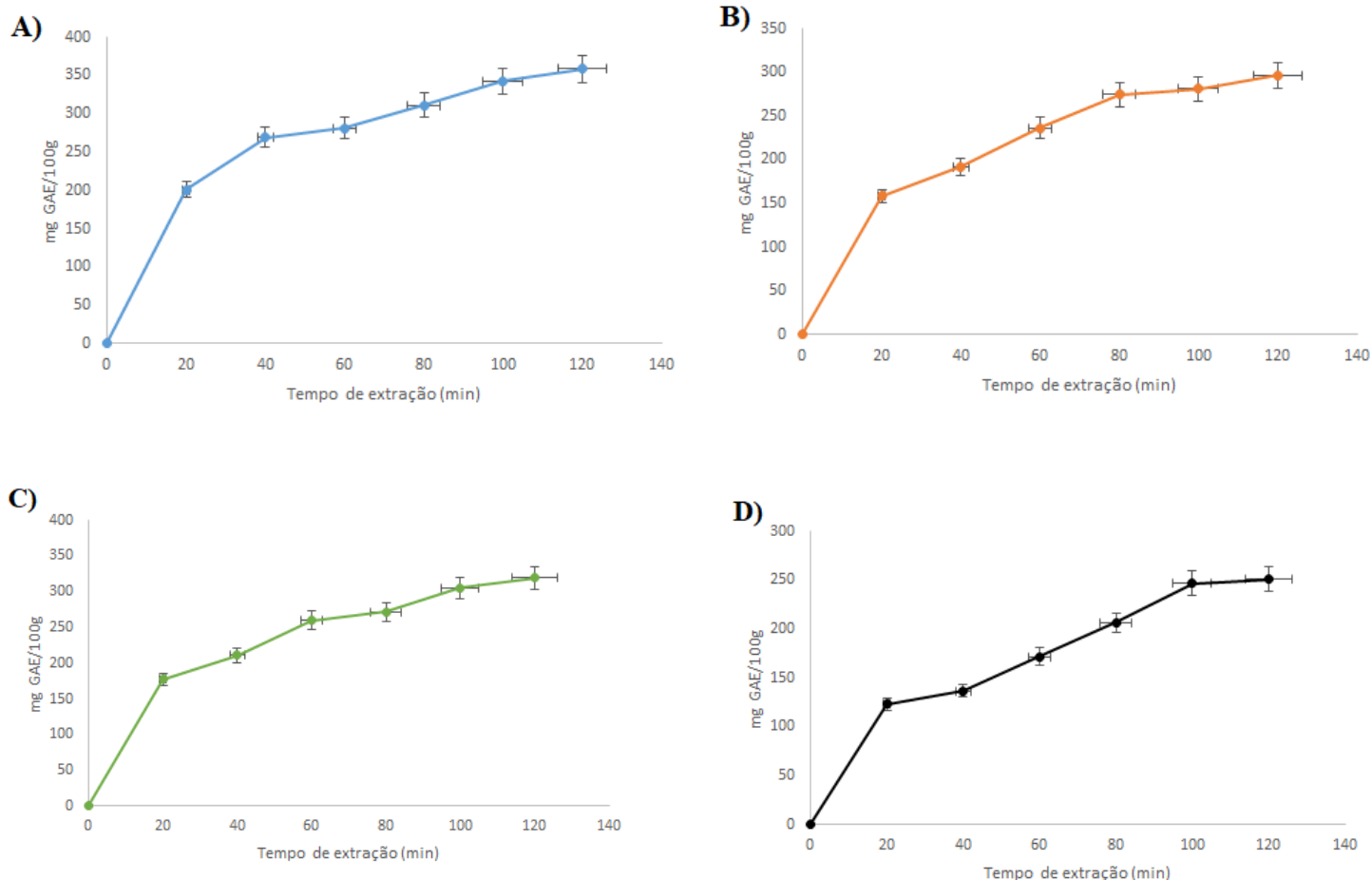
2.8 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Médias e desvios padrão foram calculados, e as diferenças estatísticas foram analisadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de Tukey software SPSS 16.0.

3 Resultados e discussões

A Figura 1 apresenta a variação da capacidade antioxidante total ao longo do tempo de extração da polpa de pitanga liofilizada, empregando diferentes NADES.

Figura 1 – Determinação da capacidade antioxidante total no tempo de extração da polpa de pitanga liofilizada, utilizando diferentes NADES: A) Ácido láctico/glicose, B) Ácido láctico/manitol, C) Betaína/glicerol e D) Betaína/glicose



Os resultados obtidos durante o tempo de extração revelaram um aumento progressivo na capacidade antioxidante total da polpa de pitanga liofilizada em todos os NADES testados. Especificamente, observou-se que após 120 minutos de ultrassom, os valores de capacidade antioxidante total foram de 358,33 mg GAE/100g para P1, 296,71 mg GAE/100g para P2, 319,64 mg GAE/100g para P3 e 251,06 mg GAE/100g para P4.

É interessante notar que os maiores teores de capacidade antioxidante total foram alcançados nos extratos preparados com Ácido láctico/glicose e com Betaína/glicerol, nas proporções de 3:1 e 1:2, respectivamente. Esta observação sugere que a composição específica dos NADES pode influenciar

significativamente na eficiência da extração dos compostos antioxidantes presentes na polpa de pitanga liofilizada.

Uma possível explicação para este resultado pode estar relacionada às propriedades dos componentes individuais dos NADES. O ácido láctico, por exemplo, é conhecido por sua capacidade de formar complexos estáveis com compostos fenólicos, facilitando assim sua extração (Koraqi et al., 2024). Da mesma forma, a betaína e o glicerol podem atuar como agentes solubilizantes, promovendo a liberação eficiente dos compostos antioxidantes da matriz da polpa de pitanga. Além disso, a escolha das proporções dos componentes dos NADES também pode desempenhar um papel crucial na eficácia da extração. A proporção específica de ácido láctico para glicose ou de betaína para glicerol pode otimizar as interações químicas e físicas durante o processo de extração, resultando em uma maior liberação e recuperação dos compostos antioxidantes (Della Pasta et al., 2023).

A Tabela 2 apresenta os resultados da atividade antioxidante por DPPH e ABTS da polpa de pitanga liofilizada utilizando NADES. As determinações da atividade antioxidante por DPPH e ABTS são de grande importância pois fornecem uma avaliação abrangente do potencial antioxidante de compostos presentes na polpa de pitanga liofilizada, permitindo uma compreensão mais completa de seus benefícios para a saúde e sua aplicabilidade em diversos produtos alimentícios e nutracêuticos.

Tabela 2 - Atividade antioxidante por DPPH e ABTS da polpa de pitanga liofilizada utilizando NADES.

Amostras	DPPH ($\mu\text{M Trolox/g}$)	ABTS ($\mu\text{M Trolox/g}$)
P1	65,09 \pm 1,03a	29,55 \pm 0,22a
P2	39,47 \pm 1,22c	19,63 \pm 0,67c
P3	52,36 \pm 0,87b	27,14 \pm 0,19b
P4	36,85 \pm 0,96d	12,25 \pm 0,60d

Legenda: P1 é o extrato da polpa de pitanga liofilizada preparado com ácido láctico/glicose; P2 é o extrato da polpa de pitanga liofilizada preparado com ácido láctico/manitol; P3 é o extrato da polpa de pitanga liofilizada preparado com

betaína/glicerol; P4 é o extrato da polpa de pitanga liofilizada preparado com betaína/glicose. Letras iguais na mesma coluna, não apresentam diferença estatística significativa ao teste de *Tukey*.

Os resultados obtidos através dos métodos de avaliação da atividade antioxidante (DPPH e ABTS) complementam as observações feitas na Figura 1, fornecendo uma análise mais abrangente da eficácia dos NADES na extração de compostos antioxidantes da polpa de pitanga liofilizada. Os valores de atividade antioxidante, expressos em μM Trolox/g, variaram de 36,85 a 65,09 para o método DPPH e de 12,25 a 29,55 para o método ABTS, com as amostras P4 (Betaína/glicose) e P1 (Ácido láctico/glicose) demonstrando os extremos desses intervalos, respectivamente. Estes resultados corroboram com as observações da Figura 1, onde os extratos preparados com Ácido láctico/glicose e Betaína/glicerol se destacaram com os maiores teores de capacidade antioxidante total.

A relação entre os resultados da atividade antioxidante e a Figura 1 pode ser explicada pela influência direta da composição dos NADES na extração dos compostos antioxidantes da polpa de pitanga. Como mencionado anteriormente, a escolha dos componentes e suas proporções afeta as interações químicas e físicas durante o processo de extração. Os NADES que demonstraram maior eficácia na Figura 1, proporcionando maiores teores de capacidade antioxidante total, também apresentaram os maiores valores de atividade antioxidante nos métodos DPPH e ABTS.

Além disso, as diferenças estatisticamente significativas observadas ao comparar todos os extratos elaborados reforçam a importância da escolha do solvente na extração de compostos antioxidantes. Essas diferenças indicam que as variações na composição e nas proporções dos NADES podem resultar em extratos com perfis antioxidantes distintos, evidenciando a complexidade e a sensibilidade do processo de extração.

4 Considerações finais

Em conclusão, este estudo demonstrou que a utilização de solventes eutéticos profundos (NADES) é uma estratégia promissora para a extração de compostos antioxidantes da polpa de pitanga liofilizada, como evidenciado pelos

resultados significativos de capacidade antioxidante total e atividade antioxidante por DPPH e ABTS. Os NADES, especialmente aqueles compostos por ácido láctico/glicose e betaína/glicerol, destacaram-se por sua eficácia na extração desses compostos bioativos.

No entanto, é importante ressaltar que este estudo possui algumas limitações, como a falta de análise detalhada dos compostos fenólicos individuais e a necessidade de investigação mais aprofundada sobre os mecanismos envolvidos na interação entre os componentes dos NADES e os compostos antioxidantes da polpa de pitanga. Portanto, sugere-se que trabalhos futuros se concentrem em elucidar esses aspectos, além de explorar outras formulações de NADES e otimizar as condições de extração para maximizar o rendimento e a qualidade dos extratos antioxidantes.

5 Referências

Akdaş, Z. Z., & Bakkalbaşı, E. (2017). Influence of different cooking methods on color, bioactive compounds, and antioxidant activity of kale. *International Journal of Food Properties*, 20(4), 877-887.

Della Posta, S., Gallo, V., Ascricchi, A. M., Gentili, A., De Gara, L., Dugo, L., & Fanali, C. (2023). Development of a green ultrasound-assisted procedure for the extraction of phenolic compounds from avocado peel with deep eutectic solvents. *Green Analytical Chemistry*, 7, 100083.

Della Posta, S., Gallo, V., Gentili, A., & Fanali, C. (2022). Strategies for the recovery of bioactive molecules from deep eutectic solvents extracts. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 116798.

Fidelis, E. M., Savall, A. S. P., de Oliveira Pereira, F., Quines, C. B., Ávila, D. S., & Pinton, S. (2022). Pitanga (*Eugenia uniflora* L.) as a source of bioactive compounds for health benefits: A review. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(4), 103691.

Freitas, D. S., Rocha, D., Castro, T. G., Noro, J., Castro, V. I., Teixeira, M. A., ... & Silva, C. (2022). Green extraction of cork bioactive compounds using natural deep eutectic mixtures. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, *10*(24), 7974-7989.

Koraqi, H., Aydar, A. Y., Khalid, W., Ercisli, S., Rustagi, S., Ramniwas, S., & Pandiselvam, R. (2024). Ultrasound-assisted extraction with natural deep eutectic solvent for phenolic compounds recovery from *Rosa damascena* Mill.: Experimental design optimization using central composite design. *Microchemical Journal*, *196*, 109585.

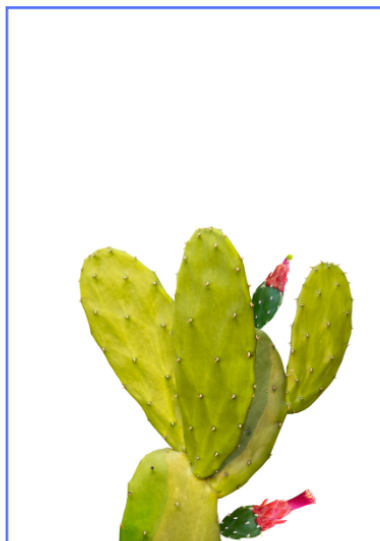
Pereira, F. S. O., Viçozzi, G. P., Souza, M. E. O., Tambara, A. L., Munieweg, F. R., Haas, S. E., ... & Ávila, D. S. (2024). Purple pitanga extract and loaded liposomes effects in a tumorous *Caenorhabditis elegans* model. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101049.

Silva Júnior, J. C., Magnani, M., da Costa, W. K. A., Madruga, M. S., Olegário, L. S., Borges, G. D. S. C., ... & de Magalhães Cordeiro, A. M. T. (2021). Traditional and flavored kombuchas with pitanga and umbu-cajá pulps: Chemical properties, antioxidants, and bioactive compounds. *Food Bioscience*, *44*, 101380.

Yang, X., Lan, W., & Sun, X. (2023). Antibacterial and antioxidant properties of phenolic acid grafted chitosan and its application in food preservation: A review. *Food Chemistry*, 136788.

Yang, Z., Amrit, B. K., Zhao, W., Shi, L., Wu, H., Barrow, C., ... & Suleria, H. A. (2022). Bioaccessibility and bioavailability changes of phenolic compounds in pumpkins (*Cucurbita moschata*): A review. *Food Bioscience*, *47*, 101753.

Yi, L., Wu, X., Guo, L., Chen, J., Gauthier, M., & Li, W. Y. (2024). Applications of ionic liquids and deep eutectic solvents for the extraction of phenolic compounds from coal-based crude oils. *Separation and Purification Technology*, 126383.



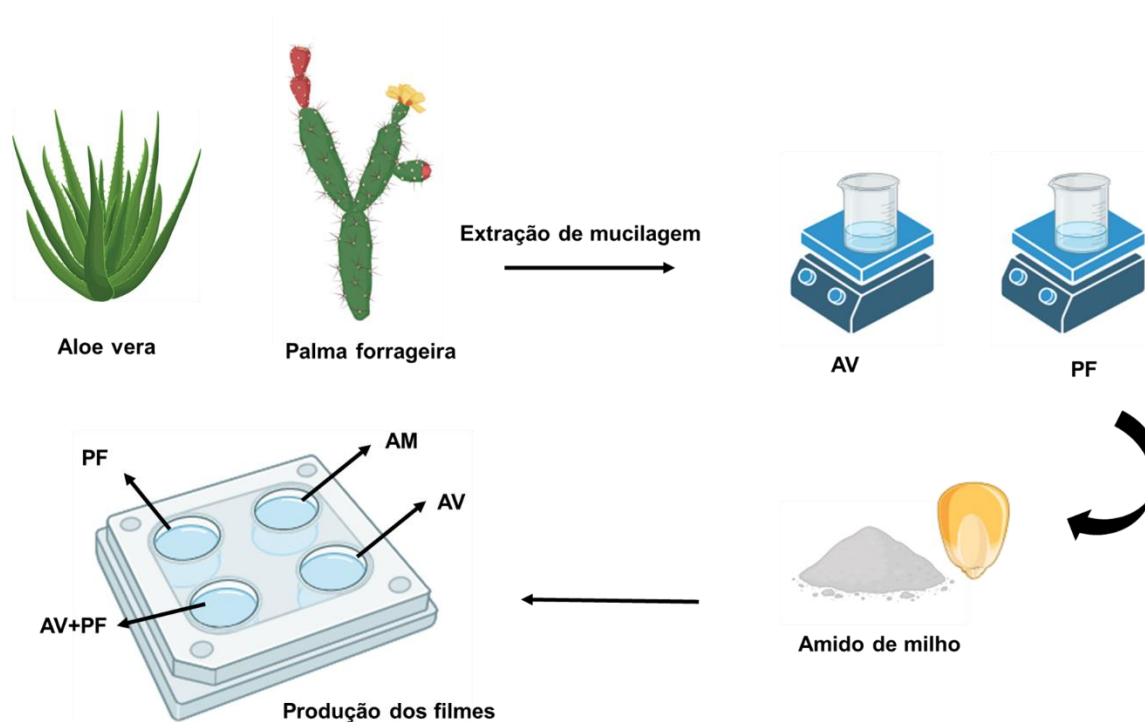
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO CARREGADOS COM MUCILAGENS DE ALOE VERA E PALMA FORRAGEIRA

M P A

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

Com o crescente interesse na busca por alternativas sustentáveis para materiais plásticos convencionais, os filmes biodegradáveis à base de amido têm se destacado como uma opção promissora. Esses filmes não apenas oferecem uma solução ambientalmente amigável para a crescente crise de resíduos plásticos (Liu et al., 2024; Lin et al., 2024), mas também podem incorporar ingredientes naturais benéficos, como as mucilagens de *aloe vera* e palma forrageira.

Aloe vera, também conhecida como 'Babosa', é uma planta amplamente reconhecida por sua riqueza em compostos fenólicos, incluindo flavonoides, terpenoides, lectinas, ácidos graxos, antraquinonas e uma variedade de polissacarídeos. Estes compostos conferem à *aloe vera* uma ampla gama de propriedades bioativas, tais como antioxidantes, antialérgicas, antiúlcera e anti-inflamatórias (Brito Netto et al., 2024).

Por outro lado, a palma forrageira, representada pela *Opuntia cochenillifera*, é uma *cactácea* prevalente em regiões áridas ao redor do mundo. Nas regiões semiáridas do Nordeste brasileiro, essa planta desempenha um papel crucial na alimentação de animais como cabras, bovinos e ovinos devido

à sua tolerância ao estresse hídrico e ao seu alto teor de nutrientes, incluindo fibras, água, vitaminas, aminoácidos e carboidratos não fibrosos ((Cruz Filho et al., 2019).

Nesse contexto, a formulação de filmes à base de amido contendo *aloe vera* e palma forrageira surge como uma alternativa altamente atrativa na elaboração de filmes biodegradáveis. Portanto, este estudo tem como objetivo obter filmes à base de amido utilizando as mucilagens de *aloe vera* e palma forrageira e analisar as suas características físicas e mecânicas.

2 Material e métodos

2.1 Obtenção das mucilagens

As folhas de *aloe vera* (AV) e palma forrageira (PF) foram obtidas na zona rural da cidade de Campina Grande, Paraíba, Brasil. Foram lavadas com água corrente para eliminar a poluição, e higienizadas com uma solução de hipoclorito de sódio a 200 ppm durante 15 minutos, e lavadas com água destilada. Em seguida, foram cortados 50 g de AV e PF adicionou-se 100 mL de água destilada e foram triturados em liquidificador durante 5 minutos para obter uma mucilagem homogênea. A solução foi fervida a 100 °C por 20 min e após resfriamento foi filtrada por membrana malha organza e acondicionada em freezer a -4 °C até o momento do uso.

2.2 Formulação dos filmes

Filmes à base de amido contendo proporções de *aloe vera* (AV) e *palma forrageira* (PF) foram utilizados para analisar o efeito do ativo nas propriedades do filme. O filme foi produzido através técnica de casting com 5 g de amido de milho (Maizena®, Brasil), onde foram dispersos em 30 mL de água com 10 g de glicerol PA (Neon Química, Brasil) como plastificante. As proporções de mucilagem de AV e PF foram adicionadas conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Formulações dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Matérias-primas	Formulações			
	AM	AV	PF	AV+PF
Amido	5 g	5 g	5 g	5 g
Água destilada	30 g	30 g	30 g	30 g
Glicerol	10 g	10 g	10 g	10 g
Mucilagem de <i>aloe vera</i>	-	50 g	-	50 g
Mucilagem de palma forrageira	-	-	50 g	50 g

Legenda: AM-amido de milho; AV-aloe vera; PF-palma forrageira

As dispersões foram homogeneizadas utilizando um agitador magnético durante 5 min, e fundidos a 95°C durante 10 min. A massa das formulações foram espalhadas uniformemente sobre uma placa apoiada em uma superfície plana. Os filmes foram secos em estufa de circulação de ar forçada à 50 °C por 2 horas. Os filmes secos foram retirados da placa e armazenados a 75,7% de umidade relativa a 25 °C para fins de determinação de suas propriedades (Rodríguez et al., 2020). A umidade relativa no dessecador foi controlada com solução supersaturada de cloreto de sódio.

2.3 Caracterizações dos filmes

2.3.1 Teor de água

A espessura dos filmes foi determinada usando um micrômetro digital com uma precisão de 0,001 mm.

2.3.2 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água dos filmes foi determinada de acordo com metodologia proposta por Mora-Palma et al. (2022), e calculada pela Equação 1. Os resultados expressos em g.mm/m².h. kPa.

$$WVP = \frac{\left(\frac{C_i}{A}\right) \cdot X}{P_s \cdot (UR_1 - UR_2)} \quad (1)$$

Em que: WVP é a permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m².h. kPa); Ci é a inclinação da reta gerada pela perda de peso do sistema em função do tempo; A é a área do filme (m²); X é a espessura (mm); Ps, é a saturação do vapor de água a 25 °C (22mmHg); UR₁, é a umidade relativa da câmara (0%) e UR₂, é a umidade relativa dentro da cápsula (100%)

2.3.3 Resistência à tração e alongamento na ruptura

As propriedades mecânicas dos filmes foram medidas usando um analisador de textura (TA-XT plus, Stable Micro Systems, UK) e incluíram a resistência à tração e o alongamento na ruptura. O comprimento de referência inicial foi de 40 mm e a taxa de alongamento foi de 1 mm/s.

2.4 Análise estatística

Cada experimento foi realizado em triplicata e os resultados foram expressos como o valor médio ± desvio padrão de três repetições. A estimativa das diferenças entre médias foi realizada utilizando o SPSS 16.0 para ANOVA unidirecional ($p < 0,05$).

3. Resultados e discussão

A Tabela 2 apresenta os teores de água dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira. Os resultados demonstram a influência desses aditivos naturais na capacidade de retenção de água dos filmes biodegradáveis.

Tabela 2. Teor de água dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Formulações	Teor de água (%)
AM	21,56± 0,12d
AV	22,35± 0,10c
PF	23,94± 0,31b
AV+PF	28,46± 0,20a

Legenda: AM: Filme elaborado apenas com amido de milho; AV: Filme carregado da mucilagem de aloe vera; PF: Filme carregado da mucilagem da palma forrageira; AV+PF: Filme carregado da mucilagem de aloe vera e palma forrageira. Letras iguais na mesma coluna não indicam diferenças estatísticas significativas ao teste aplicado.

Observa-se que a incorporação de mucilagem de aloe vera e palma forrageira tende a aumentar significativamente o teor de água dos filmes em comparação com os filmes de amido puro. Com valor máximo de 28,46% para o filme elaborado com a mistura das duas mucilagens. Esse aumento pode ser atribuído às propriedades hidrofílicas dessas mucilagens, que promovem uma maior absorção de umidade pelos filmes.

Uma das principais restrições da aplicação de filmes de amido é a sua natureza predominantemente hidrofílica, o que leva a altas taxas de transferência de água devido ao agrupamento de moléculas de água e sua difusão através de microcavidades (Otálora González et al., 2024). A Tabela 3 apresenta os resultados da permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Tabela 3. Permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Formulações	Permeabilidade ao vapor de água (g.mm/m ² .h. kPa)
AM	5,21 ± 0,20a
AV	4,82 ± 0,81a
PF	4,29 ± 0,57a
AV+PF	3,92 ± 0,33a

Legenda: AM: Filme elaborado apenas com amido de milho; AV: Filme carregado da mucilagem de aloe vera; PF: Filme carregado da mucilagem da palma forrageira; AV+PF: Filme carregado da mucilagem de aloe vera e palma forrageira. Letras iguais na mesma coluna não indicam diferenças estatísticas significativas ao teste aplicado.

Na Tabela 3, observamos que os valores de permeabilidade ao vapor de água variaram na faixa de 5,21 g.mm/m².h. kPa a 3,92 g.mm/m².h. kPa, com os filmes AM (amido puro) e AV+PF (mucilagem de aloe vera e palma forrageira), respectivamente. Esses resultados indicam uma tendência de redução na permeabilidade, embora não significativa, quando comparados aos filmes de amido puro.

Os filmes contendo a mistura das duas mucilagens apresentaram o menor valor de permeabilidade ao vapor de água. Esse resultado pode ser justificado pelo possível efeito sinérgico entre os componentes das mucilagens, que podem agir em conjunto para formar uma estrutura ainda mais compacta e impermeável. Além disso, as diferentes características físico-químicas das mucilagens podem influenciar na interação com o amido, resultando em uma matriz mais homogênea e coesa.

A Tabela 4 apresenta os resultados da resistência à tração dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Tabela 4. Resistência à tração dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Formulações	Resistência à tração (MPa)
AM	2,10 ± 0,11c
AV	2,62 ± 0,15b
PF	3,15 ± 0,19a
AV+PF	3,28 ± 0,23a

Legenda: AM: Filme elaborado apenas com amido de milho; AV: Filme carregado da mucilagem de aloe vera; PF: Filme carregado da mucilagem da palma forrageira; AV+PF: Filme carregado da mucilagem de aloe vera e palma forrageira. Letras iguais na mesma coluna não indicam diferenças estatísticas significativas ao teste aplicado.

Os resultados da Tabela 4 revelam que os filmes apresentaram valores de resistência à tração variando entre 2,10 MPa e 3,28 MPa, com as amostras AM (amido puro) e AV+PF (mucilagem de aloe vera e palma forrageira), respectivamente. Curiosamente, observou-se que apenas os filmes PF (mucilagem de palma forrageira) e AV+PF (mistura de mucilagens de aloe vera e palma forrageira) não apresentaram diferenças significativas em termos de resistência à tração.

Associamos nossos resultados também, a presença de diferentes compostos bioativos e polissacarídeos nas mucilagens pode contribuir para a formação de ligações intermoleculares mais fortes, aumentando assim a resistência à tração dos filmes (Fernandes et al., 2023). A Tabela 5 exibe os dados referentes ao alongamento na ruptura dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Tabela 5. Alongamento na ruptura dos filmes de amido carregados com mucilagem de aloe vera e palma forrageira.

Formulações	Alongamento na ruptura (%)
AM	29,84 ± 1,04d
AV	32,55 ± 0,88c
PF	40,09 ± 0,96b
AV+PF	42,71 ± 1,63a

Legenda: AM: Filme elaborado apenas com amido de milho; AV: Filme carregado da mucilagem de aloe vera; PF: Filme carregado da mucilagem da palma forrageira; AV+PF: Filme carregado da mucilagem de aloe vera e palma forrageira. Letras iguais na mesma coluna não indicam diferenças estatísticas significativas ao teste aplicado.

Como destacado na Tabela 5, os valores do alongamento na ruptura foram consistentemente superiores aos da resistência à tração, com uma variação significativa na faixa de 29,84% a 42,71%. Esse resultado sugere que os filmes apresentam uma considerável capacidade de deformação antes da ruptura, indicando uma boa flexibilidade dos materiais. As propriedades físico-químicas específicas das mucilagens individuais podem se complementar, criando uma matriz mais homogênea e flexível. Por exemplo, a presença de polissacarídeos e outros compostos bioativos nas mucilagens pode promover interações intermoleculares mais fortes, contribuindo para a melhoria da flexibilidade dos filmes.

4 Conclusão

Com base nos resultados obtidos neste estudo, podemos concluir que a incorporação de mucilagem de aloe vera e palma forrageira em filmes de amido influenciou significativamente suas propriedades físicas e mecânicas. Observamos um aumento no teor de água, uma redução na permeabilidade ao vapor de água dos filmes. Quanto à resistência à tração, os filmes elaborados com mucilagem de palma forrageira e a combinação de mucilagens apresentaram os maiores valores, sugerindo uma melhoria na coesão e integridade dos filmes. Notavelmente, os filmes também demonstraram uma alta

capacidade de deformação antes da ruptura, destacando sua flexibilidade. No entanto, é importante mencionar algumas limitações deste estudo, como a falta de investigação detalhada sobre a interação entre os componentes das mucilagens e o amido, bem como a ausência de testes de degradação em condições ambientais simuladas. Portanto, perspectivas de trabalhos futuros podem incluir estudos mais aprofundados sobre os mecanismos de interação dos componentes, análises de degradação em diferentes ambientes e a aplicação dos filmes em diversas áreas, como embalagens e revestimentos, para avaliar sua viabilidade comercial e sustentabilidade em longo prazo.

Referências

Brito Netto, M. S., Ferreira, J. F. S., de Souza, G. J. T., Assunção, I. P., Rabelo, F. D. A. C., de Alcântara Neto, F., ... & de Melo, M. P. (2024). Lasiodiplodia hormozganensis causing leaf blight on Aloe vera in Brazil. *Crop Protection*, 179, 106606.

Cruz Filho, I. J., da Silva Barros, B. R., de Souza Aguiar, L. M., Navarro, C. D. C., Ruas, J. S., de Lorena, V. M. B., ... & Maior, A. M. S. (2019). Lignins isolated from Prickly pear cladodes of the species *Opuntia ficus-indica* (Linnaeus) Miller and *Opuntia cochenillifera* (Linnaeus) Miller induces mice splenocytes activation, proliferation and cytokines production. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123, 1331-1339.

Fernandes, S. S., da Silva Cardoso, P., Egea, M. B., Martínez, J. P. Q., Campos, M. R. S., & Otero, D. M. (2023). Chia mucilage carrier systems: a review of emulsion, encapsulation, and coating and film strategies. *Food Research International*, 172, 113125.

Lin, Z., Cheng, H., He, K., McClements, D. J., Jin, Z., Xu, Z., ... & Chen, L. (2024). Recent progress in the hydrophobic modification of starch-based films. *Food Hydrocolloids*, 151, 109860.

Liu, W., Chen, L., McClements, D. J., Peng, X., Xu, Z., & Jin, Z. (2024). Development of starch film to realize the value-added utilization of starch in food and biomedicine. *Food Bioscience*, 57, 103521.

Mora-Palma, R. M., Martinez-Munoz, P. E., Contreras-Padilla, M., Feregrino-Perez, A., & Rodriguez-Garcia, M. E. (2024). Evaluation of water diffusion, water vapor permeability coefficients, physicochemical and antimicrobial properties of thin films of nopal mucilage, orange essential oil, and orange pectin. *Journal of Food Engineering*, 366, 111865.

Otálora González, C. M., Felix, M., Bengoechea, C., Flores, S., & Gerschenson, L. N. (2024). Development and Characterization of Edible Films Based on Cassava Starch Modified by Corona Treatment. *Foods*, 13(3), 468.

Rodríguez, G. M., Sibaja, J. C., Espitia, P. J., & Otoni, C. G. (2020). Antioxidant active packaging based on papaya edible films incorporated with *Moringa oleifera* and ascorbic acid for food preservation. *Food hydrocolloids*, 103, 105630.



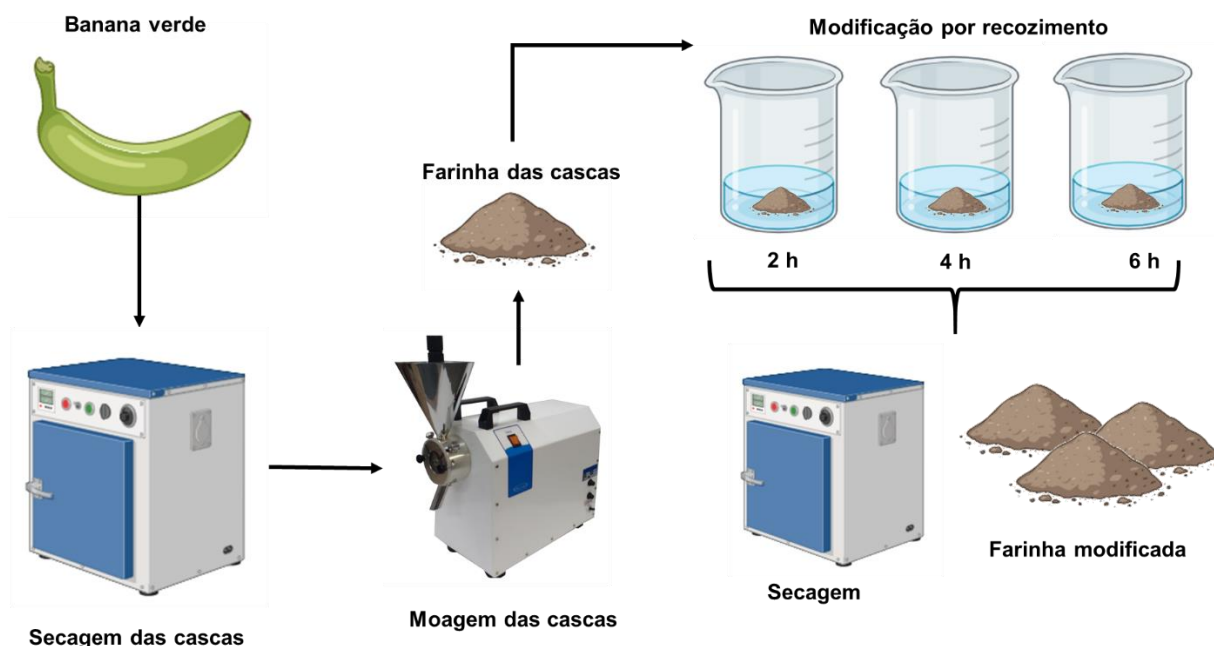
CASCA DE BANANA COMO SUBPRODUTO AGROINDUSTRIAL: EFEITO DA MODIFICAÇÃO FÍSICA NAS SUAS PRÓPRIEDADES TECNOFUNCIONAIS

S, CAA, CAO

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS
DANISE MEDEIROS VIEIRA

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

A banana, uma fruta tropical tão comum em nossa dieta diária, não apenas agrada ao paladar, mas também se destaca por seu valor nutricional. As bananas verdes, especialmente ricas em amido, possuem perfis nutricionais e funcionais ainda mais benéficos. No entanto, há um aspecto frequentemente negligenciado: a casca da banana (Cheng et al., 2024). Essa parte usualmente descartada da fruta é, na verdade, uma fonte rica e subutilizada de diversos nutrientes e compostos bioativos. Segundo Bonik et al. (2024), a casca de banana contém uma vasta gama de vitaminas, minerais e fitoquímicos essenciais, como vitamina A, B6, C e E, além de compostos como dopamina, fósforo, ferro, magnésio e fibras.

No entanto, há uma necessidade crescente de explorar formas de aproveitar esses benefícios por meio da produção de farinhas a partir das cascas de banana, o processamento em pó poderia aumentar o seu valor econômico. A secagem, um processo combinado de transferência de calor e massa, tem sido relatada como a abordagem de preservação mais popular, adequada e econômica para reduzir as perdas pós-colheita. A maioria dos produtos secos é

moída em farinha para facilitar o empacotamento e o processamento (Apaliya et al., 2024).

Para maximizar o potencial dessas farinhas, é crucial entender como a modificação física pode influenciar suas propriedades. Um dos métodos mais promissores é o recozimento. O recozimento é uma técnica simples, mas poderosa, para modificar as características físico-químicas das farinhas. Basicamente, envolve a dispersão da farinha em água e o aquecimento a uma temperatura específica, acima da temperatura de transição vítrea, mas abaixo da temperatura de gelatinização do amido, por um período determinado (Navaf et al., 2024). Estudos, como o de Zhang et al. (2023), destacam que o recozimento pode provocar mudanças significativas nas propriedades físico-químicas e funcionais das farinhas, incluindo alterações na gelatinização do amido e na viscosidade.

Este estudo teve como objetivo, aplicar a modificação de farinhas de banana pelo método de recozimento e avaliar o efeito do tempo de recozimento nas suas propriedades físicas e funcionais.

2 Metodologia

2.1 Obtenção da farinha da casca de banana

Bananas (*Musa* spp.) verdes foram adquiridas no comércio local. Os frutos foram selecionados, lavados e higienizados. Em seguida, manualmente as cascas foram removidas. As frações polpa e casca foram submetidas a uma etapa de branqueamento por vapor (5 min). Finalmente, para obtenção da farinha as cascas foram submetidas a secagem convectiva em estufa com circulação de ar na temperatura de 50 °C até massa constata. As cascas secagem, foram moídas em moinho de facas e armazenadas em embalagens laminadas (25 °C) até o momento das etapas seguintes.

2.2 Aplicação do tratamento de recozimento

Um total de 300 g de farinha de banana foi misturado com 600 mL de água destilada em um recipiente de vidro de 1 L, que foi posteriormente vedado com papel alumínio. A amostra preparada foi então submetida à incubação a uma temperatura de 55 °C durante 2, 4 e 6 h. Ao final do período de incubação, a

suspensão de farinha de banana foi então centrifugada a 1000x *g* por 15 min, seguida de uma única lavagem com água destilada. A suspensão foi submetida à secagem em estufa a uma temperatura de 50 °C durante 12 horas.

2.3 Caracterizações das farinhas

As farinhas foram codificadas como:

- FB: Farinha de banana verde sem modificação (controle);
- FB2: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 2 horas;
- FB4: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 4 horas;
- FB6: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 6 horas.

2.3.1 Teor de amido, amilose e amilopectina

O teor de amido foi determinado de acordo com a metodologia estabelecida pela A.O.A.C. (2016), que se baseia na quantificação em 620 nm do composto formado pela reação entre antrona e glicose. O teor de amilose foi quantificado utilizando método proposto por Magel (1991). Para isso, o amido (10,0 mg) foi adicionado a 2 ml de dimetilsulfóxido e depois aquecido a 85 °C durante 15 min. O volume da solução foi completado para 25 ml, em seguida pipetou-se 1 ml da solução de amido para um balão volumétrico de 50 ml, seguido da adição de 5 ml de solução de iodo e completou-se para 50 ml. A absorbância da amostra foi determinada a um comprimento de onda de 620 nm. O teor de amilopectina das amostras foi calculado pela diferença entre os valores de amido e amilose.

2.3.3 Solubilidade

A solubilidade foi determinada pelo método de Eastman e Moore (1984), onde 1g de farinha foi diluída em 100 mL de água destilada e centrifugada (2600 rpm/5 min) o sobrenadante foi seco a 105 °C/24 horas.

2.3.4 Capacidade de absorção de água e óleo

A capacidade de absorção de água (CAA) e óleo (CAO) foi determinada como a quantidade de água/óleo (em gramas) absorvida por 100 g de farinha após saturação e centrifugação conforme descrito anteriormente por Damndja et al. (2024).

2.3.5 Compostos fenólicos totais

O procedimento de Cheng et al., (2020) foi utilizado para calcular o conteúdo fenólico total nas farinhas. Metanol como solvente foi utilizado para o processo de extração. O método utiliza reagente de Folin-Ciocalteu e Na_2CO_3 . Uma curva de calibração foi feita com ácido gálico e o conteúdo fenólico total foi expresso em mg GAE/100 g de amostra seca.

2.4 Análise estatística

Os dados foram relatados como média \pm padrão por medição em triplicado. Os dados foram analisados por análise de variância (ANOVA), seguida de comparação de médias por meio de testes de múltiplos intervalos de Duncan ao nível de significância de 5%. A análise estatística foi realizada utilizando o programa estatístico SPSS 16.0. A análise de componentes principais foi realizada utilizando o programa estatístico Statistic 7.0.

3 Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta os resultados do teor de amido, amilose e amilopectina nas farinhas obtidas a partir da casca de banana verde, tanto sem como com modificação por recozimento. Os valores estão expressos em porcentagem. Os resultados obtidos indicam que o tratamento por recozimento afetou significativamente a composição química das farinhas da casca de banana verde, resultando em uma diminuição nos componentes de amido.

Tabela 1. Teor de amido, amilose e amilopectina das farinhas da casca de banana verde sem e com modificação por recozimento.

Amostras	Teor de amido (%)	Teor de amilose (%)	Teor de amilopectina (%)
FB	69,74 ± 0,38a	22,31 ± 0,13a	47,43 ± 0,55a
FB2	64,25 ± 0,54b	18,11 ± 0,61b	46,14 ± 0,78a
FB4	61,06 ± 0,32c	17,52 ± 0,71b	43,54 ± 0,37b
FB6	58,15 ± 0,22d	16,48 ± 0,26c	41,67 ± 0,24c

Legenda: FB: Farinha de banana verde sem modificação (controle); FB2: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 2 horas; FB4: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 4 horas; FB6: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 6 horas. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre o tempo de tratamento.

Observa-se, a partir dos resultados obtidos, que o aumento do tempo de recozimento em até 6 horas resultou em uma diminuição significativa no teor de amido, amilose e amilopectina das farinhas de banana verde em comparação com a farinha controle, ou seja, sem aplicação de tratamento. Em particular, foi observada uma redução de 11,55% no teor de amido, 5,83% no teor de amilose e 5,76% no teor de amilopectina. Essa redução nos componentes do amido pode ser atribuída aos efeitos do recozimento prolongado sobre a estrutura molecular e a estabilidade do amido presente nas farinhas de casca de banana verde (Navaf et al., 2024). Durante o processo de recozimento, o calor e a umidade podem induzir alterações na conformação das moléculas de amido, levando à quebra de ligações e à formação de estruturas mais compactas e estáveis. Como resultado, parte do amido pode ser convertida em produtos de degradação ou pode sofrer gelatinização seguida de retrogradação, reduzindo assim o teor total de amido disponível (Xie et al., 2024).

A Tabela 2 apresenta os resultados da solubilidade em água, capacidade de absorção de água e óleo das farinhas obtidas a partir da casca de banana verde, tanto sem como com modificação por recozimento. Observa-se que os

valores da solubilidade em água, capacidade de absorção de água e capacidade de absorção de óleo aumentaram significativamente com o aumento do tempo de recozimento, revelando uma tendência clara de melhoria nas propriedades hidrofílicas e lipofílicas das farinhas de casca de banana verde após o tratamento por recozimento.

Tabela 2. Solubilidade em água, capacidade de absorção de água e óleo das farinhas da casca de banana verde sem e com modificação por recozimento.

Amostras	Solubilidade (%)	CAA (%)	CAO (%)
FB	60,08 ± 0,25d	68,62 ± 0,46d	32,65 ± 0,27d
FB2	66,29 ± 0,31c	73,87 ± 0,27c	37,44 ± 0,14c
FB4	70,05 ± 0,29b	76,19 ± 0,30b	42,12 ± 0,62b
FB6	72,31 ± 0,18a	82,54 ± 0,52a	49,04 ± 0,20a

Legenda: FB: Farinha de banana verde sem modificação (controle); FB2: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 2 horas; FB4: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 4 horas; FB6: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 6 horas. CAA: Capacidade de absorção de água; CAO: Capacidade de absorção de óleo; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre o tempo de tratamento.

O aumento na solubilidade de 60,08% para 72,31% observado com o aumento do tempo de recozimento de 2 para 6 horas pode ser atribuído à modificação das estruturas moleculares presentes na farinha. Da mesma forma, a capacidade de absorção de água aumentou consideravelmente de 68,62% para 82,54% com o aumento do tempo de recozimento. Este aumento pode ser explicado pela maior disponibilidade de sítios de ligação de água na farinha, devido às alterações estruturais induzidas pelo recozimento. Além disso, a capacidade de absorção de óleo também apresentou um aumento significativo de 32,65% para 49,04% com o aumento do tempo de recozimento. Este aumento pode ser atribuído à formação de estruturas mais porosas e permeáveis na farinha, o que permite uma maior interação entre a farinha e o óleo.

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram os teores de compostos fenólicos totais nas diferentes amostras de farinhas de casca de banana verde, tanto sem como com modificação por recozimento.

Tabela 3. Compostos fenólicos totais das farinhas da casca de banana verde sem e com modificação por recozimento.

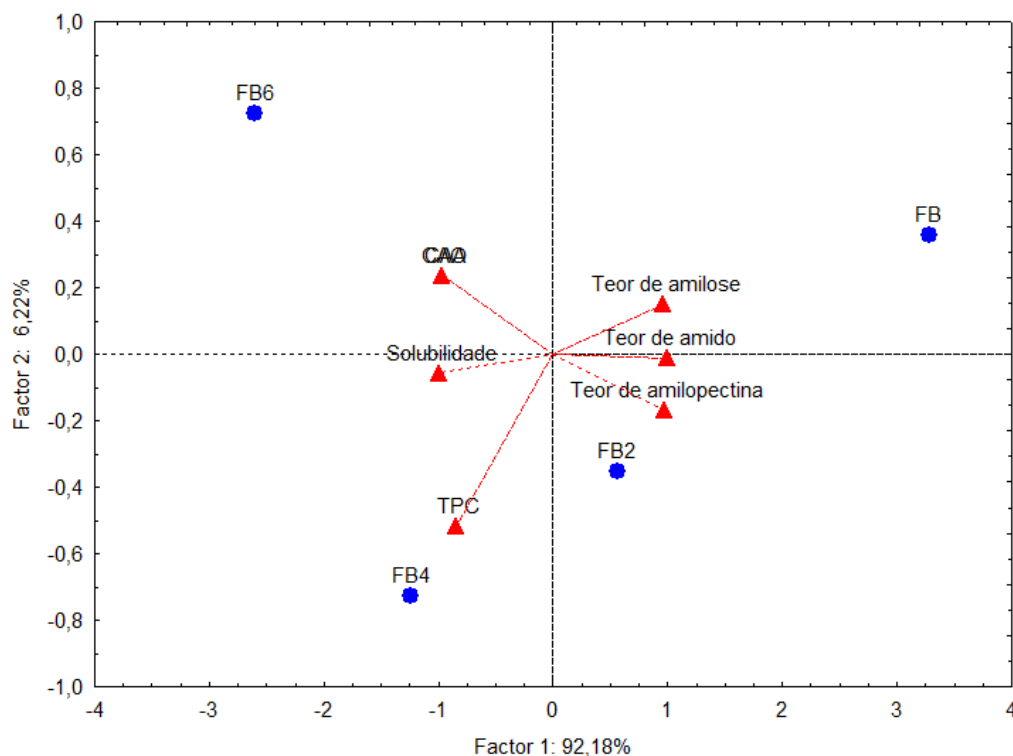
Amostras	Fenólicos totais (mg GAE/100g)
FB	11,63 ± 0,45 d
FB2	13,85 ± 0,12c
FB4	15,97 ± 0,74a
FB6	14,52 ± 0,36b

Legenda: FB: Farinha de banana verde sem modificação (controle); FB2: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 2 horas; FB4: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 4 horas; FB6: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 6 horas. Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa entre o tempo de tratamento.

Observa-se que houve um aumento significativo nos teores de compostos fenólicos totais conforme o tempo de recozimento foi prolongado. As amostras FB2, FB4 e FB6, submetidas a recozimento por 2, 4 e 6 horas, respectivamente, apresentaram teores de compostos fenólicos totais mais elevados em comparação com a amostra controle (FB), que não recebeu tratamento de recozimento. Essa variação nos teores de compostos fenólicos totais pode ser atribuída às mudanças bioquímicas que ocorrem na casca de banana durante o processo de recozimento. O calor e a umidade aplicados durante o recozimento podem promover a liberação e a solubilização de compostos fenólicos presentes na matriz da casca de banana, levando a um aumento na concentração desses compostos nas farinhas resultantes.

A Figura 1 apresenta a análise de componentes principais das farinhas obtidas a partir da casca de banana verde, tanto sem como com modificação por recozimento.

Figura 1. Análise de componentes principais das farinhas da casca de banana verde sem e com modificação por recozimento.



Legenda: FB: Farinha de banana verde sem modificação (controle); FB2: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 2 horas; FB4: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 4 horas; FB6: Farinha de banana verde modificada por recozimento durante 6 horas. CAA: Capacidade de absorção de água; CAO: Capacidade de absorção de óleo; TPC: Compostos fenólicos totais.

Os resultados da análise de componentes principais (PCA) revelam uma alta variabilidade explicada pelo Fator 1, que representa impressionantes 92,18% da variação total dos dados. Isso indica que a maior parte da variação entre as amostras de farinha de casca de banana verde pode ser atribuída a esse primeiro componente principal. Por outro lado, o Fator 2 explica uma proporção significativamente menor da variação total, correspondendo a 6,22%.

A visualização das amostras de farinha em quadrantes diferentes do gráfico PCA sugere que o tratamento por recozimento teve um impacto substancial na composição e nas propriedades das farinhas. Cada amostra, seja ela sem tratamento (controle) ou submetida a diferentes tempos de recozimento, foi distribuída em quadrantes distintos do gráfico, indicando diferenças significativas entre elas.

4 Considerações finais

Os resultados indicam que o recozimento afetou significativamente a composição química, as propriedades hidrofílicas e lipofílicas, e os teores de compostos fenólicos totais das farinhas. Houve uma diminuição nos componentes de amido, bem como um aumento na solubilidade em água, na capacidade de absorção de água e óleo, e nos teores de compostos fenólicos totais com o aumento do tempo de recozimento. Além disso, a análise de componentes principais revelou que o tratamento por recozimento influenciou a composição e as propriedades das farinhas, levando a diferenças significativas entre as amostras. Trabalhos futuros podem se aprofundar na compreensão dos mecanismos bioquímicos envolvidos nos efeitos do recozimento nas propriedades das farinhas. Além disso, seria interessante investigar o impacto do recozimento em outras características das farinhas, como a estabilidade microbiológica, a funcionalidade em sistemas alimentícios específicos, e o potencial para aplicação em produtos alimentícios.

5 Referências

A.O.A.C. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International (20th ed.)*. Rockville, Maryland, USA: AOAC international.

Apaliya, M. T., Kwaw, E., Osae, R., Alolga, R. N., Aidoo, P., Mensah, L. A., ... & Wilson, C. L. (2024). Effect of different drying methods on the rehydration kinetics, physiochemical and functional properties of unripe plantain (*Musa parasidiaca*) flour. *Food Chemistry Advances*, 100610.

Bonik, S. K., Tamanna, S. T., Happy, T. A., Haque, M. N., Islam, S., & Faruque, M. O. (2024). Formulation and evaluation of cereal-based breads fortified with natural prebiotics from green banana, moringa leaves powder and soya powder. *Applied Food Research*, 4(1), 100377.

Cheng, W., Gao, L., Wu, D., Gao, C., Meng, L., Feng, X., & Tang, X. (2020). Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and

nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: Its potential use as food ingredients. *Lwt*, 133, 109872.

Cheng, Y. T., Huang, P. H., Chan, Y. J., Chiang, P. Y., Lu, W. C., Hsieh, C. W., ... & Li, P. H. (2024). Investigate the composition and physicochemical properties attributes of banana starch and flour during ripening. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 100446.

Damndja, W. N., Ngangoum, E. S., Saidou, C., & Mohamadou, S. (2023). Formulation of three infant foods from plantain flour fortified with sesame (*Sesamum indicum*), Soya bean (*Glycine max*) and cashew nut (*Anacardium occidentale* L.). *Food Chemistry Advances*, 3, 100313.

Eastman, J. E., & Moore, C. O. (1984). Cold water-soluble granular starch for gelled food composition. U.S. Patent 4465702

Magel, E. (1991). Qualitative and quantitative determination of starch by a colorimetric method. *Starch-Stärke*, 43(10), 384-387.

Navaf, M., Sunooj, K. V., & Lackner, M. (2024). Physicochemical characteristics and in-vitro digestibility of talipot starch-lysine complexes formed by heat-moisture treatment and annealing. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101032.

Xie, S., Li, Z., Duan, Q., Huang, W., Huang, W., Deng, Y., ... & Xie, F. (2024). Reducing oil absorption in pea starch through two-step annealing with varying temperatures. *Food Hydrocolloids*, 150, 109701.

Zhang, Z., Shang, M., McClements, D. J., Qiu, C., Ji, N., Dai, L., ... & Sun, Q. (2023). Effects of annealing temperature and time on the structural and physicochemical properties of sweet potato flour hydrogels. *Food Chemistry: X*, 18, 100674.

doi 10.53934/202413.06



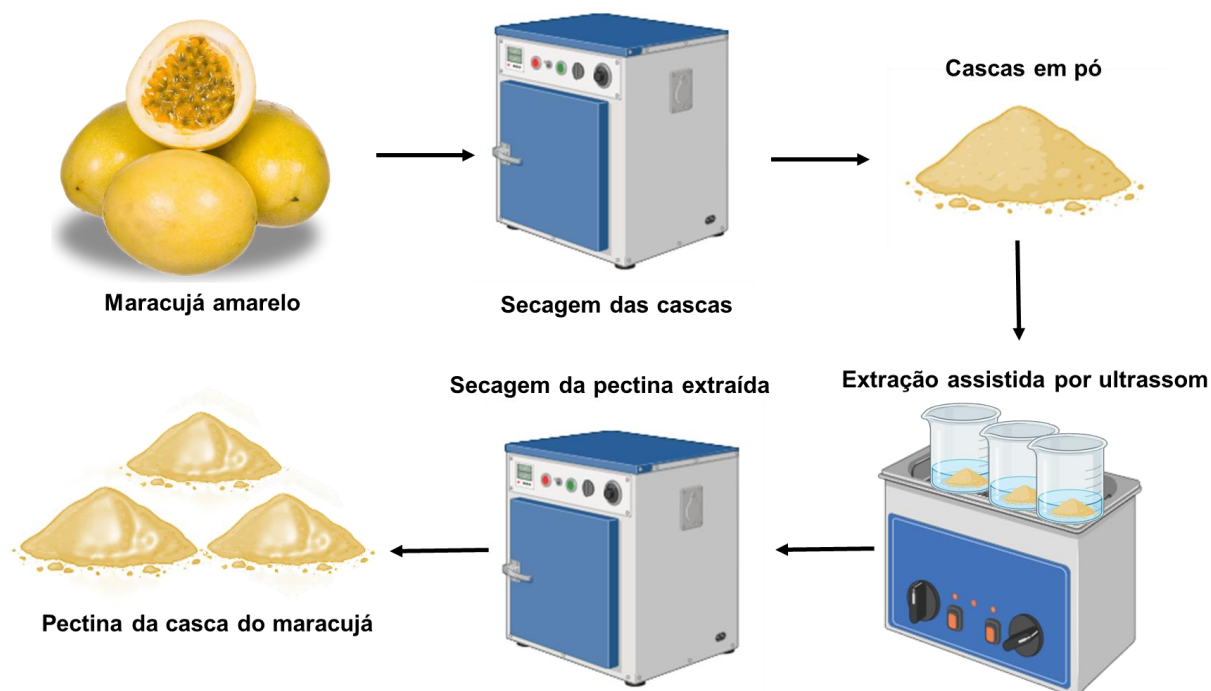
EXTRAÇÃO DE PECTINA, DA CASÇA DO MARACUJÁ ASSISTIDA POR ULTRASSOM

P Z , G M , T G

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

O maracujá amarelo (*Passiflora edulis*) é uma espécie amplamente cultivada em diversos países. Esta espécie pertence à família *Passifloraceae* e tem sido utilizada em diversos ramos industriais, sendo o mais comum na produção de sucos. O Brasil é considerado o maior produtor de maracujá, representando cerca de 70% de toda a produção mundial, com produtividade máxima de 17 toneladas por hectare. Em 2021, os números no Brasil foram de aproximadamente 683.993 toneladas de maracujá, 44.827 ha de área colhida e 1.533.905 reais de valor de produção, sendo o maior produtor o estado nordestino do Ceará (Teles et al., 2023; Hou et al., 2023).

A casca do maracujá, que representa 50-55% do fruto inteiro, é o principal subproduto da indústria de processamento do maracujá. É rica em pectina, um dos mais importantes polissacarídeos utilizados principalmente como fonte de fibra nutricional e prebiótico. A pectina é um heteropolissacarídeo e seu principal componente é o ácido D-galacturônico, que forma polímeros ligados em cadeias através de ligações glicosídicas covalentes α -1,4 formando seu domínio principal que é o Homogalacturonan. A pectina também pode conter outros monossacarídeos como L-Rhamnose, D-Arabinose e D-Galactose (Pereira et al., 2024).

Segundo Shivamathi et al. (2023) a pectina tem sido comumente usada como aditivo alimentar comercial e ingrediente alimentar multifuncional nos últimos anos. A pectina é usada como agente gelificante, espessante, emulsificante e estabilizante na indústria alimentícia, agente antienvelhecimento na indústria cosmética e agente encapsulante de medicamentos comestíveis na indústria farmacêutica.

Geralmente, diferentes técnicas de extração convencionais e não convencionais são utilizadas para extração de pectina de biomateriais (Shivamathi et al., 2023). Entre as tecnologias atuais de extração, o ultrassom tem sido amplamente reconhecido como ecologicamente correto, barato, rápido e eficiente devido à cavitação acústica causada pela passagem da onda ultrassônica. A cavitação acústica consiste na formação, crescimento e colapso de microbolhas na superfície sólida, levando à corrosão e erosão, resultando na ruptura das paredes celulares, permitindo a penetração do solvente e melhorando a transferência de massa, levando a um aumento no rendimento de extração e encurtando o tempo de extração (Romanini et al., 2021).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito do tempo de ultrassonicação no rendimento de extração de pectina das cascas de maracujá, potencial Zeta, grau de metoxilação e na calorimetria diferencial exploratória.

2 Metodologia

2.1 Secagem das cascas de maracujá

Maracujás amarelos (*Passiflora edulis*) frescos, livres de doenças e maduras foram obtidos no mercado local. Os frutos inteiros foram lavados com água corrente e destilada e despulpado manualmente. As cascas foram cortadas em pequenos pedaços e espalhadas em bandejas para secagem em estufa a ar quente a 60 °C. A casca seca foram trituradas e passaram por uma peneira (80 mesh) para obtenção de amostras de pó fino que foram mantidas a -18 °C.

2.2 Extração da pectina

Para extração da pectina, um grama de casca de maracujá em pó foi dissolvido em 20 mL de água destilada, e o HCl 1 N foi utilizado para ajustar o pH da solução (pH 1-3). A pectina foi extraída utilizando um ultrassonicador

operando a 20 kHz com uma amplitude de 75% em diferentes tempos de processo 2, 4 e 6 min. A solução foi resfriada a 25°C e centrifugada por 15 minutos a 8.000 rpm. O sobrenadante resultante foi misturado com o dobro do volume de etanol absoluto e incubado durante a noite à temperatura ambiente. A mistura coloidal formada foi filtrada utilizando papel de filtro, e o resíduo foi então separado e lavado duas vezes com etanol a 96%. Por fim, o conteúdo foi seco por 2 horas a 50°C.

2.3 Rendimento de extração

A porcentagem de rendimento da extração de pectina foi calculada usando a Equação 1:

$$\text{Rendimento (\%)} = \frac{\text{Peso do produto obtido (g)}}{\text{Peso da amostra em pó (g)}} \times 100 \quad (1)$$

2.4 Potencial Zeta

A carga superficial das amostras foi obtida utilizando um analisador de potencial zeta (Zetasizer, Malvern Instrument, Houston, TX, EUA) operando a 25 °C. As amostras foram diluídas 10 vezes com água deionizada (pH 7), agitadas em vórtice por 10 segundos e a carga superficial foi registrada para cada uma.

2.5 Grau de metoxilação

O grau de metoxilação foi determinado de acordo com Chaliha et al. (2018). Para isso, 50 mg de pectina foram adicionados 500 µL de etanol, 10 mL de água destilada, 0,10 g de NaCl e uma gota de indicador vermelho de fenol. A solução foi agitada por 15 min para dissolver todos os componentes e depois titulada com NaOH 0,1 M até a mudança de cor (Titulação A). Posteriormente, 2,5 mL de NaOH 0,25 M foram adicionados à mistura e deixada em repouso por 30 min em temperatura ambiente. Por fim, foram adicionados 2,5 mL de HCl 0,25 M e a mistura foi titulada novamente com NaOH 0,1 M até a cor ficar vermelha (Titulação B).

2.6 Calorimetria diferencial exploratória

A análise de calorimetria diferencial exploratória foi realizada. Para este propósito, 5 mg de amostra de pectina extraída seca e finamente moída foram adicionados a um cadinho de alumínio padrão e imediatamente selado. Com uma taxa de aquecimento de 10 °C/min e um ambiente dinâmico de nitrogênio inerte (50 mL/min), o cadinho foi aquecido de 60 a 100 °C. Um cadinho de alumínio padrão vazio foi empregado como referência ao mesmo tempo.

2. Análise estatística

Os resultados da determinação analítica foram processados por ANOVA unidirecional, com separação de médias pelo teste de Tukey com nível de confiança de 95% utilizando o software SPSS 16.0.

3 Resultados e discussões

A Tabela 1 apresenta os rendimentos de extração da pectina das cascas do maracujá assistida por ultrassom em diferentes tempos 2, 4 e 6 min.

Tabela 1 – Rendimento de extração da pectina das cascas do maracujá assistida por ultrassom.

Amostras	Rendimento (%)
P2	9,87 ± 0,14c
P4	12,05 ± 0,32b
P6	13,21 ± 0,29a

Legenda: P2 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 2 min; P4 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 4 min; P6 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 6 min; Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística significativa entre as amostras.

Com base nos dados apresentados na Tabela 1, observamos que o rendimento de extração da pectina das cascas do maracujá aumenta com o aumento do tempo da ultrassonicação. Especificamente, o rendimento médio

para o processo de extração por 2 minutos (P2) foi de 9,87%, enquanto para 4 minutos (P4) e 6 minutos (P6) foi de 12,05% e 13,21%, respectivamente.

Essa tendência de aumento no rendimento de extração da pectina com a duração do processo de ultrassom pode ser atribuída à maior eficiência na quebra das células e liberação do material pectinado da matriz da casca do maracujá. O ultrassom é conhecido por induzir fenômenos de cavitação, onde bolhas de vapor são formadas e colapsam, criando micro-jatos que podem romper as paredes celulares e facilitar a liberação de componentes intracelulares (Zhang et al., 2022).

Além disso, o aumento na eficiência de extração com o tempo de ultrassom pode estar relacionado à melhoria na difusão dos solventes para dentro das células vegetais e subsequente liberação da pectina. Com o prolongamento do tempo de ultrassom, mais células são quebradas, permitindo que o solvente atinja um maior número de locais de ligação da pectina, resultando em um maior rendimento global (Zhong et al., 2024).

A Tabela 2 apresenta os valores do Potencial Zeta da pectina extraída das cascas do maracujá, assistido por ultrassom em diferentes tempos. O Potencial Zeta é uma medida da carga elétrica superficial das partículas de pectina, e sua magnitude pode influenciar várias propriedades, como estabilidade coloidal, capacidade de dispersão e interações interparticuladas (Xu et al., 2018).

Tabela 2 – Potencial Zeta da pectina extraída das cascas do maracujá assistida por ultrassom.

Amostras	Potencial Zeta (Mv)
P2	-20,91 ± 0,29b
P4	-18,25 ± 0,74a
P6	-22,14 ± 0,52c

Legenda: P2 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 2 min; P4 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 4 min; P6 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 6 min; Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística significativa entre as amostras.

Observamos que o Potencial Zeta das amostras de pectina extraídas das cascas do maracujá varia conforme o tempo de ultrassom aplicado ($p < 0,05$). No caso presente, as amostras de pectina extraídas durante diferentes períodos de ultrassom (P2, P4 e P6) exibem Potenciais Zeta com valores médios de -20,91 mV, -18,25 mV e -22,14 mV, respectivamente. Estes valores indicam que as partículas de pectina possuem carga negativa em todas as condições de extração. A variação nos valores do Potencial Zeta pode ser atribuída a diferentes fatores durante o processo de extração assistido por ultrassom. Por exemplo, o tempo de ultrassom pode afetar a estrutura molecular da pectina, levando a alterações na densidade de grupos funcionais carregados e, conseqüentemente, na carga superficial das partículas (Hu et al., 2019). Além disso, variações na concentração de íons presentes no meio de extração e pH podem influenciar o Potencial Zeta, uma vez que esses fatores afetam a ionização dos grupos funcionais da pectina (Xu et al., 2018).

A Tabela 3 apresenta os valores do grau de metoxilação da pectina extraída das cascas do maracujá assistida por ultrassom em diferentes tempos 2, 4 e 6 min. Segundo Pei et al. (2024), o Grau de Metoxilação é uma medida da proporção de resíduos de ácido D-galacturônico na pectina que estão metoxilados, ou seja, a porcentagem desses resíduos que possuem grupos metoxila ligados.

Tabela 3 – Grau de metoxilação da pectina extraída das cascas do maracujá assistida por ultrassom.

Amostras	Grau de metoxilação (%)
P2	26,18 ± 1,12b
P4	29,88 ± 1,63a
P6	32,25 ± 1,77a

Legenda: P2 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 2 min; P4 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 4 min; P6 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 6

min; Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística significativa entre as amostras.

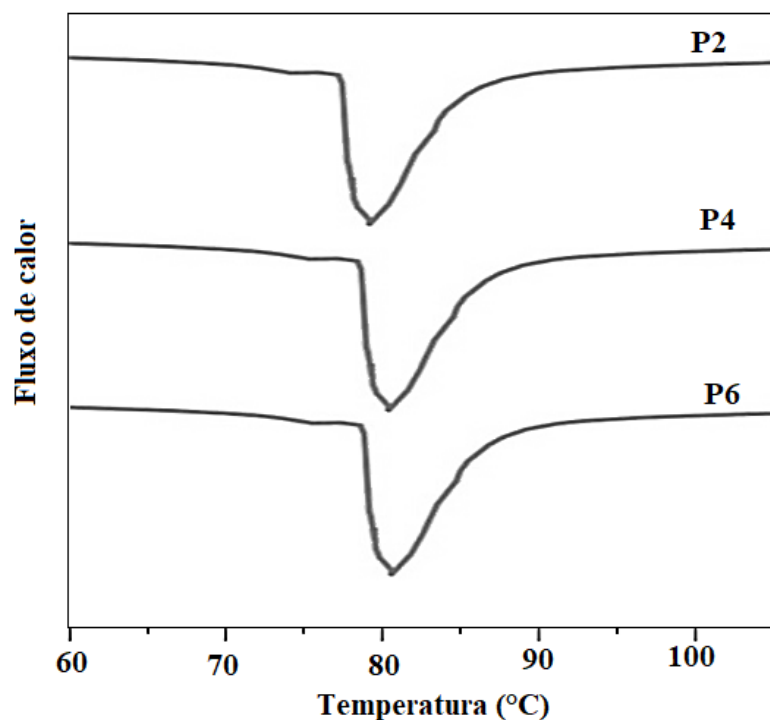
As amostras P2, P4 e P6 apresentam valores médios de Grau de Metoxilação de 26,18%, 29,88% e 32,25%, respectivamente. Esses resultados indicam um aumento no Grau de Metoxilação com o aumento do tempo de ultrassom. Essa variação no Grau de Metoxilação pode ser atribuída ao efeito do ultrassom na estrutura da pectina durante o processo de extração. O ultrassom pode promover a quebra de ligações químicas na estrutura da pectina, incluindo as ligações éster entre os resíduos de ácido D-galacturônico e os grupos metoxila. Como resultado, a exposição prolongada ao ultrassom pode levar a uma maior quebra dessas ligações éster e, conseqüentemente, a uma maior liberação de grupos metoxila, aumentando assim o Grau de Metoxilação.

Além disso, variações nas condições de extração, como pH e temperatura, também podem influenciar o Grau de Metoxilação da pectina. O pH, por exemplo, pode afetar a ionização dos grupos carboxila na estrutura da pectina, o que pode, por sua vez, influenciar a estabilidade das ligações éster e, portanto, o Grau de Metoxilação.

A análise de calorimetria diferencial de varredura é uma técnica importante para investigar o comportamento térmico de materiais, incluindo a pectina extraída das cascas do maracujá. A Figura 1 apresenta os termogramas obtidos para as amostras resultantes dos diferentes tempos de processo (2, 4 e 6 minutos).

Os picos endotérmicos observados nos termogramas indicam a absorção de calor pelas amostras durante o aquecimento. De acordo com Wani e Uppaluri (2023), esses picos endotérmicos podem ser atribuídos a diferentes fatores, incluindo a presença de água e as ligações de hidrogênio entre as unidades de ácido galacturônico na estrutura da pectina.

Figura 1 – Termograma da pectina extraída das cascas do maracujá assistida por ultrassom.



Legenda: P2 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 2 min; P4 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 4 min; P6 é a pectina extraída durante o processo assistido por ultrassom por 6 min.

É relevante mencionar que todos os termogramas exibiram um pico próximo a 80 °C, indicando uma transição térmica comum entre as amostras. Isso sugere que há semelhanças na estrutura ou composição das diferentes amostras de pectina extraídas em diferentes tempos de processo. A consistência na temperatura de pico entre as amostras pode ser atribuída a características estruturais comuns da pectina extraída, independentemente do tempo de processo.

4 Considerações finais

Os resultados deste estudo demonstram que o rendimento de extração da pectina das cascas do maracujá assistida por ultrassom é significativamente influenciado pelo tempo de ultrassom, com um aumento progressivo no rendimento conforme o tempo de processo é prolongado. Além disso, observou-se uma correlação entre o tempo de ultrassom e o Grau de Metoxilação da

pectina, indicando que o tempo de processo também influencia as propriedades químicas da pectina extraída. No entanto, é importante destacar que o Potencial Zeta das partículas de pectina não mostrou uma tendência clara em relação ao tempo de ultrassom, sugerindo que outros fatores além do tempo de processo podem estar envolvidos na determinação da carga superficial das partículas. Ademais, a análise por calorimetria diferencial de varredura revelou características termoanalíticas consistentes entre as amostras, indicando uma similaridade na estrutura ou composição da pectina extraída, independentemente do tempo de processo.

Como perspectivas para trabalhos futuros, sugere-se a investigação mais aprofundada dos parâmetros de processo, como a intensidade e a frequência do ultrassom, para otimização adicional do rendimento e das propriedades da pectina. Além disso, estudos sobre a aplicação da pectina extraída em diversas áreas, como embalagens para alimentos, por exemplo.

5 Referências

Chaliha, M., Williams, D., Smyth, H., & Sultanbawa, Y. (2018). Extraction and characterization of a novel Terminalia pectin. *Food science and biotechnology*, 27, 65-71.

Hu, W., Chen, S., Wu, D., Zheng, J., & Ye, X. (2019). Ultrasonic-assisted citrus pectin modification in the bicarbonate-activated hydrogen peroxide system: Chemical and microstructural analysis. *Ultrasonics sonochemistry*, 58, 104576.

Huo, D., Dai, J., Yuan, S., Cheng, X., Pan, Y., Wang, L., & Wang, R. (2023). Eco-friendly simultaneous extraction of pectins and phenolics from passion fruit (*Passiflora edulis Sims*) peel: Process optimization, physicochemical properties, and antioxidant activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125229.

Pei, C. C., Hsien, T. S., Hsuan, F. C., Hsuan, H. L., Chi, C. C., & Yi, L. M. (2024). Microwave-and ultrasound-assisted extraction of pectin yield and physicochemical properties from lemon peel. *Journal of Agriculture and Food Research*, 101009.

Pereira, D. T. V., Méndez-Albiñana, P., Mendiola, J. A., Villamiel, M., Cifuentes, A., Martínez, J., & Ibáñez, E. (2024). An eco-friendly extraction method to obtain pectin from passion fruit rinds (*Passiflora edulis* sp.) using subcritical water and pressurized natural deep eutectic solvents. *Carbohydrate Polymers*, *326*, 121578.

Romanini, E. B., Rodrigues, L. M., Finger, A., Chierrito, T. P. C., da Silva Scapim, M. R., & Madrona, G. S. (2021). Ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from BRS Violet grape pomace followed by alginate-Ca²⁺ encapsulation. *Food Chemistry*, *338*, 128101.

Shivamathi, C. S., Gunaseelan, S., Soosai, M. R., Vignesh, N. S., Varalakshmi, P., Kumar, R. S., ... & Moorthy, I. M. G. (2022). Process optimization and characterization of pectin derived from underexploited pineapple peel biowaste as a value-added product. *Food Hydrocolloids*, *123*, 107141.

Teles, G. H., dos Santos, E. C., da Silva, G. B., Da Silva, M. G. L., da Silva, J. M., de Moraes Rocha, G. J., ... & Ribeiro, E. (2023). Full utilization of the yellow passion fruit peel: Chemical characterization and valorization to reduce biomass waste. *Industrial Crops and Products*, *206*, 117593.

Xu, S. Y., Liu, J. P., Huang, X., Du, L. P., Shi, F. L., Dong, R., ... & Cheong, K. L. (2018). Ultrasonic-microwave assisted extraction, characterization and biological activity of pectin from jackfruit peel. *Lwt*, *90*, 577-582.

Zhang, L., Hu, Y., Wang, X., Zhang, A., Fakayode, O. A., Ma, H., & Zhou, C. (2022). Hybrid techniques of pre and assisted processing modify structural, physicochemical and functional characteristics of okra pectin: Controlled-temperature ultrasonic-assisted extraction from preparative dry powders and its field monitoring. *Ultrasonics Sonochemistry*, *88*, 106080.

Zhong, W., Yu, Y., Zhang, B., Tao, D., Fang, J., & Ma, F. (2024). Effect of H₂O₂-assisted ultrasonic bath on the degradation and physicochemical properties of pectin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 258, 128863.

doi 10.53934/202413.07



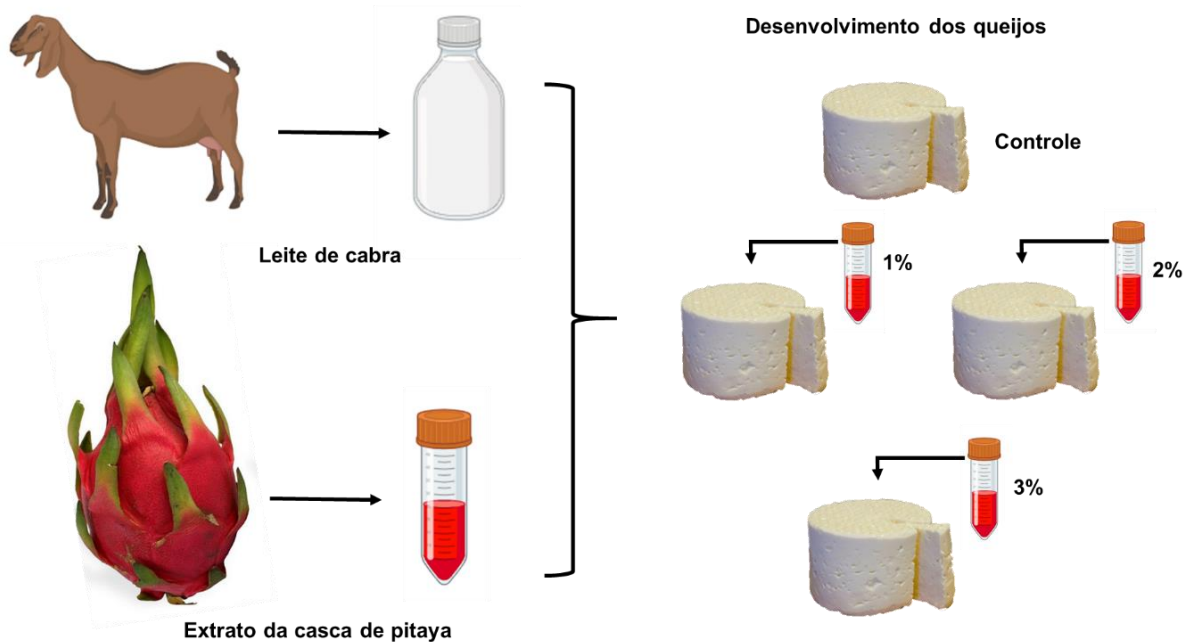
QUEIJO DE LEITE DE CABRA ADICIONADO DE EXTRATOS DA CASCA DE PITAYA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- QUÍMICA E FUNCIONAL

U, A W, P H, A T, F, P A

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

A principal base para a produção de laticínios é o leite de vaca, mas o estado está atento para aumentar a participação do leite de outros animais de criação. É dada especial importância ao desenvolvimento de produtos lácteos a partir do leite de cabra. A produção de leite e produtos lácteos é uma tecnologia bem estabelecida e comprovada, que consiste em operações de processamento de alimentos na obtenção de produtos lácteos seguros e de alta qualidade (Nina et al., 2023).

As cabras desempenham um papel significativo na produção de leite, especialmente para pequenas famílias, devido aos menores requisitos de investimento de capital e às despesas de produção relativamente baixas. Além disso, a capacidade das cabras de prosperar e reproduzir em diversos ambientes climáticos as torna uma presença comum em várias regiões do mundo (Akshith et al., 2024). É importante ressaltar que o leite de cabra apresenta uma composição distinta em comparação com o leite de vaca. Esta diferença é evidenciada pelo maior teor de ácidos graxos de cadeia curta e média, bem como pelo menor teor de α S1-caseína, juntamente com glóbulos de gordura naturalmente homogêneos. Além disso, em relação ao leite bovino, o leite de cabra possui

níveis superiores de vitamina A e uma maior biodisponibilidade de minerais essenciais, como cálcio, fósforo, potássio e magnésio. Não apenas isso, mas também é reconhecido por conter peptídeos antimicrobianos, demonstrar propriedades anticancerígenas e terapêuticas, além de promover o desenvolvimento cerebral (Santos et al., 2023; Chauhan et al., 2021).

Essas características únicas do leite de cabra oferecem oportunidades promissoras para a inovação na indústria de laticínios. Nesse contexto, a presente pesquisa se propõe a explorar a adição de extratos da casca de pitaya ao queijo produzido a partir do leite de cabra. Pitaya (*Hylocereus* spp.) é uma fruta tropical popular por sua atraente cor de casca vermelha brilhante salpicada de escamas verdes. No caso da indústria de processamento da pitaya, a casca é um subproduto abundante gerado durante o processamento industrial, representando aproximadamente 30% do peso total da fruta (Ferreira et al., 2023). A casca da pitaya pode ser utilizada como fonte de agentes bioativos naturais, pois contém flavonóides, ácidos fenólicos e betacianina com propriedades antioxidantes, antibacterianas e anti-inflamatórias (Xin et al., 2022).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da concentração do extrato da casca de pitaya nas características físico-químicas e funcionais e queijos produzidos com leite de cabra.

2 Metodologia

2.1 Obtenção do extrato da casca de pitaya

Pitaya (*Hylocereus* spp.) de casca e polpa vermelha foram adquiridas no comércio local. Imediatamente transportadas para os laboratórios e submetidas a uma etapa de seleção, limpeza, sanitização e despulpamento (polpa armazenada). As cascas foram secas a 50 °C até peso constante. Após a desidratação, as cascas foram trituradas para obtenção de uma amostra homogênea que foi submetida a uma extração aquosa. Resumidamente, 5 g de pó da casca de pitaya foram embebidas em água quente (90 °C) durante 30 min no escuro. A suspensão resultante foi então centrifugada a 15.000 rpm a 4 °C por 10 min, a solução sobrenadante recuperada por filtração foi armazenada no escuro a -18 °C até o uso.

2.2 Fabricação do queijo

Resumidamente, o leite de cabra foi pasteurizado a 63 °C durante 30 min e depois arrefecido a 32°C. Após agitação durante 10 min para misturar bem, foram inoculados 0,5 g de iniciador mesófilo. Após 1 h de fermentação a 32°C, foi adicionado 1 g de cloreto de cálcio de qualidade alimentar e, em seguida, 0,25 g de enzima de coalho foram adicionados 5 minutos depois. Em seguida, a coagulação foi cortada e agitada durante 10 minutos enquanto a temperatura era elevada para 42 °C (de 32°C). Após esta etapa os extratos da casca de pitaya (Tabela 1) foram adicionados e em uma forma cilíndrica o queijo foi prensado por 3 h. Por fim, os queijos foram selados a vácuo em sacos de polietileno estéreis e armazenados a 4°C para posterior análise.

Tabela 1 – Codificações das formulações e percentuais de extrato da casca de pitaya utilizado.

Amostras	Extrato da casca de pitaya
QC1	0%
QC2	1%
QC3	2%
QC4	3%

Legenda: QC1 foi usando como grupo controle.

2.3 Determinação do teor de umidade e atividade de água

O teor de umidade foi determinado pelo método de secagem em estufa a 105°C. A atividade de água dos queijos foi medida utilizando um analisador digital de atividade de água (AquaLab, EUA), à temperatura ambiente.

2.4 pH e acidez titulável

Para medição de pH, 25g de queijo foi homogeneizado com 25 mL de água destilada a 12.000 rpm por 1 min em temperatura ambiente, e o pH foi medido usando um medidor de pH digital. A acidez titulável foi determinada em triplicata titulando uma alíquota do filtrado com NaOH (0,1 mol/L) utilizando fenolftaleína como indicador, conforme método padrão apropriado. Os resultados foram expressos como porcentagem de ácido láctico.

2.5 Firmeza

A firmeza dos queijos foi analisada pelo analisador de textura TA.XT Plus. Os queijos embalados sem vácuo foram cortados em retângulos de 20 x 20 x 15 mm antes da análise. As amostras foram comprimidas duas vezes até 30% da altura original por uma sonda cilíndrica de aço inoxidável (36 mm de diâmetro) a uma velocidade de 1 mm/s e a força de disparo foi ajustada para 15 g. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

2.6 Potencial antioxidante

Para análise do potencial antioxidante foi preparada inicialmente um extrato. Para isso, 1g de queijo foi misturada com 10 ml de etanol e o sobrenadante foi coletado após centrifugação por 10 min a 6.000 rpm. O ensaio de compostos fenólicos totais foi analisado de acordo com o método sugerido por Dudonne et al. (2009).

2.7 Qualidade microbiológica

Para detecção de *Staphylococcus* foi seguida a metodologia descrita por Resta & Oliveira (2013) e para determinação de *Salmonella* spp. foi usado o método da AOAC (2019).

2.8 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Médias e desvios padrão foram calculados, e as diferenças estatísticas foram analisadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de *Tukey* software SPSS 16.0.

3 Resultados e discussões

A Tabela 2 apresenta os resultados do teor de umidade e da atividade de água dos queijos produzidos utilizando leite de cabra com diferentes concentrações do extrato da casca de pitaya. Esses parâmetros são fundamentais na determinação da qualidade e estabilidade dos queijos, influenciando diretamente suas características sensoriais e sua vida útil.

Tabela 2 – Teor de umidade e atividade de água dos queijos produzidos com leite de cabra e diferentes concentrações de leite de cabra.

Amostras	Teor de umidade (%)	Atividade de água
QC1	37,52 ± 0,32d	0,921 ± 0,01c
QC2	42,80 ± 0,44a	0,932 ± 0,01b
QC3	41,97 ± 0,26b	0,917 ± 0,02c
QC4	40,55 ± 0,53c	0,966 ± 0,01a

Legenda: QC1: queijo produzido com leite de cabra sem adição de extrato da casca de pitaya; QC2: queijo produzido com leite de cabra e adição de 1% do extrato da casca de pitaya; QC3: queijo produzido com leite de cabra e adição de 2% do extrato da casca de pitaya; QC4: queijo produzido com leite de cabra e adição de 3% do extrato da casca de pitaya; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

Observamos uma variação significativa no teor de umidade entre as amostras. O queijo QC1, produzido apenas com leite de cabra, apresentou o menor teor de umidade (37,52%), enquanto o queijo QC2, com 1% de adição de extrato de casca de pitaya, mostrou o maior teor de umidade (42,80%). Esse aumento no teor de umidade com a adição de extrato de casca de pitaya pode estar relacionado à presença de umidade retida na matriz do queijo devido à incorporação do extrato. A atividade de água é um parâmetro crucial para a estabilidade e segurança dos alimentos, pois afeta diretamente a disponibilidade de água para reações químicas e crescimento microbiano. Observamos que a atividade de água variou entre as amostras, com o queijo QC4 apresentando a maior atividade de água (0,966) e o queijo QC2, com 1% de adição de extrato de casca de pitaya, apresentando a menor atividade de água (0,932). Isso sugere que a adição de extrato de casca de pitaya pode influenciar a disponibilidade de água no queijo, afetando sua estabilidade microbiológica e sua vida útil.

A Tabela 3 apresenta os resultados do pH e da acidez titulável dos queijos produzidos utilizando leite de cabra, juntamente com a adição de extrato da casca de pitaya em diferentes proporções (1, 2 e 3%).

Tabela 3 – pH e acidez titulável dos queijos produzidos com leite de cabra e diferentes concentrações de leite de cabra.

Amostras	pH	Acidez titulável (% ácido láctico)
QC1	5,6 ± 0,02a	0,39 ± 0,05a
QC2	5,2 ± 0,01b	0,45 ± 0,10a
QC3	4,9 ± 0,01c	0,51 ± 0,04a
QC4	4,7 ± 0,03d	0,53 ± 0,01a

Legenda: QC1: queijo produzido com leite de cabra sem adição de extrato da casca de pitaya; QC2: queijo produzido com leite de cabra e adição de 1% do extrato da casca de pitaya; QC3: queijo produzido com leite de cabra e adição de 2% do extrato da casca de pitaya; QC4: queijo produzido com leite de cabra e adição de 3% do extrato da casca de pitaya; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

Observa-se uma diminuição progressiva nos valores de pH à medida que aumenta a concentração de extrato da casca de pitaya. O queijo QC1, produzido apenas com leite de cabra, apresentou o maior pH (5,6), enquanto o queijo QC4, com 3% de adição de extrato da casca de pitaya, apresentou o menor pH (4,7). Essa redução no pH pode ser atribuída à presença de compostos ácidos no extrato da casca de pitaya, que contribuem para tornar o queijo mais ácido. A acidez titulável, expressa como percentagem de ácido láctico, também apresentou um aumento significativo com a adição de extrato da casca de pitaya. Mais uma vez, o queijo QC1 mostrou o menor valor de acidez titulável (0,39% ácido láctico), enquanto o queijo QC4 mostrou o maior valor (0,53% ácido láctico). Esse aumento na acidez titulável está em concordância com a diminuição do pH e pode ser explicado pela presença de ácidos no extrato da casca de pitaya, que contribuem para aumentar a acidez total do queijo.

A Tabela 4 apresenta os resultados do parâmetro de textura (Firmeza) e o potencial antioxidante (compostos fenólicos totais) dos queijos produzidos utilizando leite de cabra com diferentes concentrações do extrato da casca de pitaya.

Tabela 4 – Firmeza e potencial antioxidante dos queijos produzidos com leite de cabra e diferentes concentrações de leite de cabra.

Amostras	Firmeza (N)	Potencial antioxidante (mg GAE/10g)
QC1	3,15 ± 0,21	54,71 ± 0,84d
QC2	3,85 ± 0,15	82,26 ± 1,15c
QC3	3,27 ± 0,32	101,55 ± 0,66b
QC4	3,44 ± 0,10	173,48 ± 2,19a

Legenda: QC1: queijo produzido com leite de cabra sem adição de extrato da casca de pitaya; QC2: queijo produzido com leite de cabra e adição de 1% do extrato da casca de pitaya; QC3: queijo produzido com leite de cabra e adição de 2% do extrato da casca de pitaya; QC4: queijo produzido com leite de cabra e adição de 3% do extrato da casca de pitaya; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

Os valores de firmeza dos queijos variaram entre as diferentes formulações. Observa-se um aumento na firmeza à medida que aumenta a concentração de extrato da casca de pitaya. O queijo QC4, com 3% de adição de extrato da casca de pitaya, apresentou a maior firmeza (3,44 N), enquanto o queijo QC2, com 1% de adição de extrato, mostrou a menor firmeza (3,85 N). Esses resultados sugerem que a adição de extrato de casca de pitaya pode contribuir para uma maior firmeza na estrutura dos queijos, possivelmente devido à interação entre os compostos presentes no extrato e as proteínas do queijo, resultando em uma rede mais coesa e firme.

O potencial antioxidante dos queijos, expresso em termos de miligramas equivalentes de ácido gálico (GAE) por 10 gramas de queijo, também variou significativamente entre as formulações. Verifica-se um aumento notável no potencial antioxidante com o aumento da concentração de extrato da casca de pitaya. O queijo QC4 apresentou o maior potencial antioxidante (173,48 mg GAE/10g), enquanto o queijo QC1, sem adição de extrato, mostrou o menor potencial antioxidante (54,71 mg GAE/10g). Isso sugere que os compostos antioxidantes presentes no extrato de casca de pitaya foram efetivamente transferidos para os queijos durante o processo de fabricação, conferindo-lhes propriedades antioxidantes adicionais.

A Tabela 5 apresenta os resultados dos parâmetros microbiológicos avaliados nas formulações de queijo.

Tabela 5 – Parâmetros microbiológicos avaliados nas formulações de queijo produzido com leite de cabra e diferentes concentrações de leite de cabra.

Amostras	<i>Staphylococcus</i> (UFC/g)	<i>Salmonella</i> spp./25g
QC1	Ausente	Ausente
QC2	Ausente	Ausente
QC3	Ausente	Ausente
QC4	Ausente	Ausente

Legenda: QC1: queijo produzido com leite de cabra sem adição de extrato da casca de pitaya; QC2: queijo produzido com leite de cabra e adição de 1% do extrato da casca de pitaya; QC3: queijo produzido com leite de cabra e adição de 2% do extrato da casca de pitaya; QC4: queijo produzido com leite de cabra e adição de 3% do extrato da casca de pitaya.

Todos os queijos das diferentes formulações apresentaram ausência de *Staphylococcus*, o que é um resultado positivo em termos de segurança alimentar. A ausência desse microrganismo indica que os queijos foram produzidos e armazenados de maneira higiênica, e não há contaminação por *Staphylococcus*, que pode ser responsável por intoxicações alimentares. Assim como para o *Staphylococcus*, todas as amostras de queijo mostraram ausência de *Salmonella* spp. Isso é extremamente importante, pois a presença de *Salmonella* em alimentos pode representar um sério risco à saúde dos consumidores, causando infecções gastrointestinais graves. A ausência de *Salmonella* spp. nas amostras indica que os procedimentos de fabricação e armazenamento foram adequados para prevenir a contaminação por esse patógeno.

4 Considerações finais

Em suma, os resultados deste estudo demonstram que a adição de extrato da casca de pitaya influenciou significativamente as características físico-químicas e microbiológicas dos queijos produzidos com leite de cabra. Observou-se que a inclusão do extrato resultou em alterações nas propriedades

de umidade, atividade de água, pH, acidez titulável, firmeza e potencial antioxidante dos queijos. Além disso, os queijos enriquecidos com extrato da casca de pitaya apresentaram uma melhoria na firmeza e um aumento no potencial antioxidante, sugerindo potenciais benefícios para a saúde. No aspecto microbiológico, todas as formulações demonstraram ausência de *Staphylococcus* e *Salmonella*, indicando a segurança microbiológica dos produtos. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se investigar mais a fundo os efeitos da adição de extrato de casca de pitaya em diferentes tipos de queijos e em diferentes etapas de maturação. Além disso, estudos de estabilidade durante o armazenamento e avaliações sensoriais sobre a aceitação do consumidor e a vida útil dos queijos enriquecidos com extratos de frutas. Essas pesquisas podem contribuir para o desenvolvimento de produtos lácteos inovadores e funcionais, atendendo às demandas crescentes por alimentos saudáveis e de alta qualidade.

5 Referências

Akshit, F. N. U., Mao, T., Kaushik, R., Poswal, V., & Deshwal, G. K. (2024). Global comprehensive review and meta-analysis of goat milk composition by location, publication year and lactation stage. *Journal of Food Composition and Analysis*, 105973.

AOAC - Association of Official Agricultural Chemists. (2019). Official methods of analysis of Association of Official Agricultural Chemists. (21th ed.), Ass. Off. Analytical. Chem., Washington, USA.

Chauhan, S., Powar, P., & Mehra, R. (2021). A review on nutritional advantages and nutraceutical properties of cow and goat milk. *Int. J. Appl. Res*, 7, 101-105.

Dudonne, S., Vitrac, X., Coutiere, P., Woillez, M., & Mérillon, J. M. (2009). Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1768-1774.

Ferreira, V. C., Sganzerla, W. G., Barroso, T. L. C. T., Castro, L. E. N., Colpini, L. M. S., & Forster-Carneiro, T. (2023). Sustainable valorization of pitaya (*Hylocereus* spp.) peel in a semi-continuous high-pressure hydrothermal process to recover value-added products. *Food Research International*, 173, 113332.

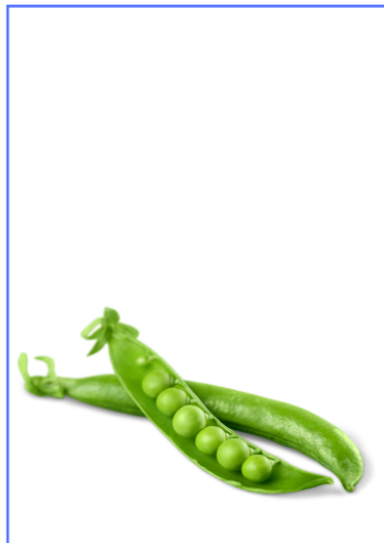
Nina, D., Olga, K., Elena, V., Svetlana, K., Kermen, M., Arina, O., & Anandan, S. (2023). Influence of acoustic cavitation on physico-chemical, organoleptic indicators and microstructure of Adyghe cheese produced from cow and goat milk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 106493.

Resta, M. S. A. & Oliveira, T. C. R. M. D. (2013). Avaliação do padrão estafilococos coagulase positiva estabelecido pela legislação brasileira para massas alimentícias. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16(4), 319-325.

Santos, W. M., Gomes, A. C. G., de Caldas Nobre, M. S., de Souza Pereira, Á. M., dos Santos Pereira, E. V., dos Santos, K. M. O., ... & Buriti, F. C. A. (2023). Goat milk as a natural source of bioactive compounds and strategies to enhance the amount of these beneficial components. *International Dairy Journal*, 137, 105515.

Xin, K. Q., Ji, X. Y., Guo, Z., Han, L., Yu, Q. L., & Hu, B. (2022). Pitaya peel extract and lemon seed essential oil as effective sodium nitrite replacement in cured mutton. *Lwt*, 160, 113283.

doi 10.53934/202413.08



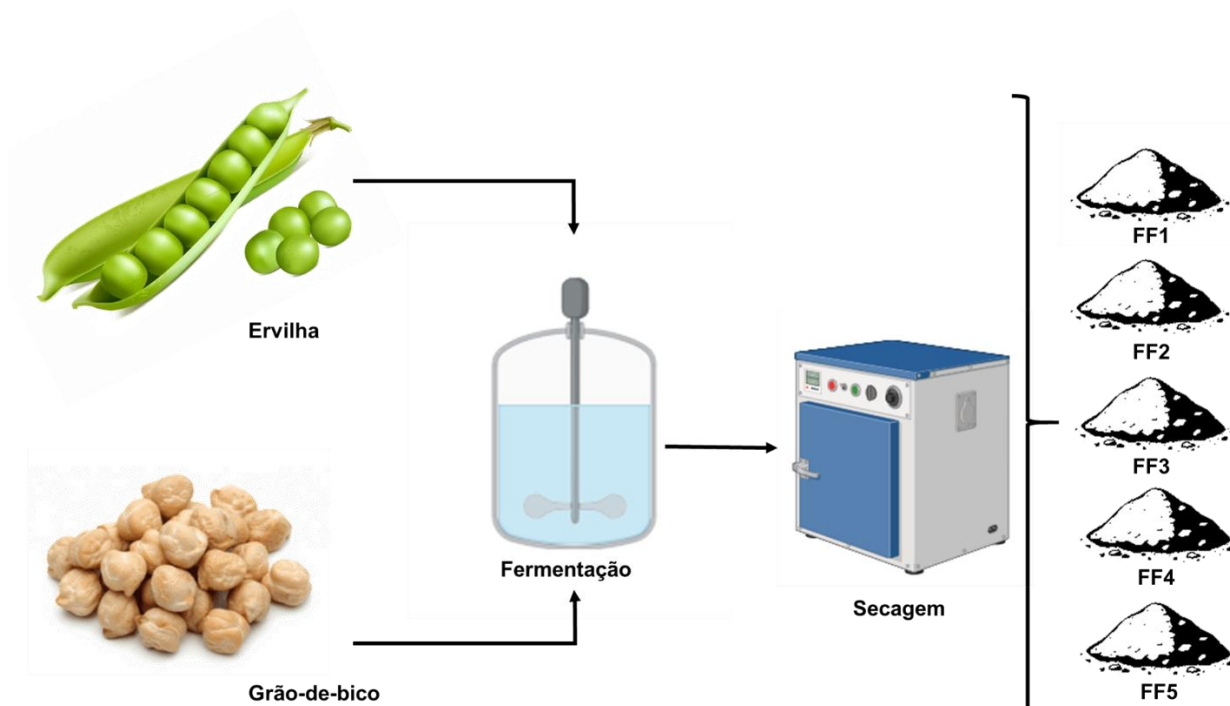
PROPRIEDADES TECNOLOGICAS DE FARINHAS DE ERVILHA E GRÃO-DE-BICO FERMENTADOS

U, A_w, pH, AT, F, PA

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
GABRIEL MONTEIRO DA SILVA
LUCAS RODOLFO INÁCIO DA SILVA
AISLA RAYANNY BARBOSA DO NASCIMENTO
RAQUEL ALVES DE LUNA DIAS
DANISE MEDEIROS VIEIRA

2024

Resumo gráfico



1 Introdução

Hoje em dia, o crescimento populacional e as modificações no estilo de vida alteram a procura de produtos agrícolas e alimentares, empurrando os fabricantes de alimentos para uma inovação profunda no design dos alimentos. Neste contexto, aumenta fortemente a utilização de ingredientes alternativos à farinha de trigo, capazes de fortificar produtos finais em proteínas, fibras, compostos bioativos (Perri et al., 2023), como as farinhas de ervilha e grão-de-bico.

A ervilha é uma importante leguminosa de grão que há muito tempo é utilizada na alimentação humana ou animal, e ocupa o 4º lugar na produção mundial de leguminosas alimentares, depois da soja, do amendoim e do feijão. A ervilha contém 23,1–30,9% de proteína, 50–60% de carboidratos, 1,5–2,0% de gordura e constituintes menores, como minerais, vitaminas, polifenóis, ácido fítico, oxalatos e saponinas, dependendo das condições de cultivo, maturidade e variedade. Seu carboidrato consiste em 35–40% de amido com 24,0–49,0% de amilose, 2–9% de fibra alimentar solúvel e 10–15% insolúvel e alguns carboidratos não amiláceos, como sacarose, oligossacarídeos e celulose (Farshi et al., 2023; Karlsson et al., 2024).

O grão de bico (*Cicer arietinum* L.) é uma das leguminosas mais importantes do mundo e representa 17% da produção global de leguminosas. É uma leguminosa rica em nutrientes, que não contém apenas proteínas e carboidratos ricos, mas também ácidos graxos insaturados, minerais dietéticos, fibras alimentares, polissacarídeos não amiláceos e isoflavonas. Além disso, também foi comprovado que o grão de bico tem muitos efeitos à saúde, como prevenção de câncer, hiperlipidemia, desenvolvimento do sistema nervoso e doenças cardiovasculares, que tem sido amplamente utilizado para desenvolver alimentos funcionais devido aos seus componentes bioativos, valores nutricionais excepcionais e potenciais para humanos (Mao et al., 2024; Patil et al., 2024).

Além de serem fontes ricas em proteínas, fibras e outros nutrientes essenciais, essas leguminosas têm a capacidade única de serem fermentadas, o que pode ampliar ainda mais suas propriedades nutricionais e tecnológicas (Sánchez-García et al., 2024). a fermentação de produtos à base de sementes produz diversas melhorias no prazo de validade, textura, sabor e nutrição. Vários estudos demonstraram que a fermentação (com fermentos ou através da flora nativa) de leguminosas aumenta o seu valor nutritivo, reduz alguns compostos endógenos antinutricionais, como o ácido fítico, exerce efeitos benéficos na digestibilidade das proteínas e no seu valor biológico, e produz a liberação de compostos bioativos. Tem efeitos benéficos na síndrome do intestino irritável, uma vez que vários compostos, incluindo glúten, inibidores de enzimas digestivas e certos carboidratos ou polióis fermentáveis, podem ser hidrolisados, prevenindo os sintomas (Cipollone et al., 2022).

Nesse contexto, este estudo se propõe a caracterizar as formulações de farinhas derivadas de grãos de ervilha e grão-de-bico, enfocando diversos parâmetros tecnológicos relevantes. Dentre esses parâmetros, destacam-se o teor de água, a capacidade de absorção de água, a solubilidade, o teor de proteínas e amido, além dos compostos fenólicos totais

2 Metodologia

2.1 Fermentação dos grãos

Para o processo de fermentação, grãos de ervilha e grão-de-bico foram hidratados em frasco de vidro com 65% de umidade e as amostras foram esterilizadas a 121 °C por 20 min. Eles foram então inoculados adicionando 1/8 da porção da cultura starter e incubados a 28°C por 14 dias.

2.2 Processo de secagem

Os grãos fermentados foram dispostos em bandejas de aço inoxidável e submetidas ao processo de secagem convectiva na temperatura de 65 °C até atingirem o equilíbrio de umidade.

2.3 Moagem dos grãos

Os grãos fermentados e secos foram submetidos a uma etapa de moagem para sua redução a pó. Para isso, utilizou um moinho de bolas, e os grãos moídos foram peneirados em peneira com tela de 60 mesh para padronização granulométrica. As farinhas obtidas foram armazenadas em embalagens laminadas e mantidas em temperatura ambiente até preparo das formulações e realização das análises.

2.4 Formulação das farinhas

As farinhas que foram produzidas foram separadas em 5 grupos de amostras, nos quais foram avaliadas as farinhas individuais e as combinações de farinhas, incluindo farinha fermentada de ervilha e grão-de-bico. A Tabela 1 mostra as proporções de cada tipo de farinha utilizadas em cada combinação.

Tabela 1 – Composição das formulações de farinhas elaboradas com farinhas de grãos de ervilha e de grãos-de-bico fermentados.

Amostras	Farinha de ervilha (%)	Farinha de grão-de-bico (%)
FF1	100%	-
FF2	-	100%
FF3	50%	50%
FF4	70%	30%
FF5	30%	70%

2.5 Caracterização das farinhas

2.5.1 Teor de água

O teor de água das farinhas foi determinado por perda de massa, em estufa a 105 °C de acordo com AOAC (2016).

2.5.2 Capacidade de absorção de água

A capacidade de absorção de água foi determinada pelo método descrito por Alam et al. (2024). Amostras de 0,5 g de farinha e 10 mL de água destilada foram colocadas em um tubo de centrifuga. Após 1 min de mistura vigorosa, a mistura foi submetida à centrifugação a uma velocidade de 3.000 rotações por minuto durante 30 min. O sobrenadante foi decantado e o tubo invertido por 1 min.

2.5.3 Solubilidade

A solubilidade das formulações de farinhas foi determinada conforme relatado anteriormente por Gong et al. (2023). Exatamente 1 g de amostra foi dissolvido em 30 mL de água destilada e colocado em um tubo de centrifuga. Os tubos de centrifuga foram colocados em água a 30 °C por 5 min e depois retirados. Esta amostra foi centrifugada a 3000 rpm durante 10 min. O precipitado foi novamente centrifugado uma vez repetindo a operação acima. O precipitado foi seco a 105°C durante 8 h.

2.5.4 Teor de proteínas e teor de amido

O teor de proteínas foi determinado pelo método Kjeldahl baseado no teor de nitrogênio ($N \times 6,25$) e o teor de amido foi determinado pelo método que se baseia na quantificação em 620 nm do composto formado pela reação entre antrona e glicose, ambos de acordo com AOAC (2016).

2.5.5 Compostos fenólicos totais

O procedimento de Cheng et al. (2020) foi utilizado para calcular o conteúdo fenólico total nos extrudados. Metanol como solvente foi utilizado para o processo de extração. O método utiliza reagente de Folin-Ciocalteu, Na_2CO_3

7,5% e espectrofotômetro. Uma curva de calibração foi feita com ácido gálico e o conteúdo fenólico total foi expresso em mg GAE/100 g de amostra seca.

2.6 Análise estatística

As análises foram realizadas em triplicata. Médias e desvios padrão foram calculados, e as diferenças estatísticas foram analisadas por análise de variância unidirecional (ANOVA) seguida pelo teste de *Tukey* software SPSS 16.0.

3 Resultados e discussões

A Tabela 2 apresenta os dados referentes ao teor de água e à capacidade de absorção de água das farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados e das suas formulações mistas. Observa-se que a FF5 (farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de grão-de-bico fermentados) apresentou o menor teor de água (4,08%) em comparação com as outras formulações, enquanto a FF3 (farinha elaborada com 50% de grãos de ervilha e 50% de grão-de-bico fermentados) teve o maior teor de água (5,74%). Isso sugere que a proporção de grãos de ervilha e grão-de-bico na mistura influencia diretamente o teor de água da farinha resultante. No entanto, estatisticamente apenas as amostras FF4 e FF5 apresentaram diferenças significativas quando comparadas entre si.

Tabela 2 - Teor de água e capacidade de absorção de água de farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados.

Amostras	Teor de água (%)	Capacidade de absorção de água (%)
FF1	5,21 ± 0,11a	69,50 ± 0,20d
FF2	4,63 ± 0,29a	76,44 ± 0,26b
FF3	5,74 ± 0,42a	66,55 ± 0,32e
FF4	4,98 ± 0,21a	72,87 ± 0,28c
FF5	4,08 ± 0,15b	78,52 ± 0,47a

Legenda: FF1: Farinha elaborada com 100% de grãos de ervilha fermentados; FF2: Farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados; FF3: Farinha elaborada com 50% de grãos de ervilha e 50% de grão-de-bico fermentados;

FF4: Farinha elaborada com 70% de grãos de ervilha e 30% de grão-de-bico fermentados; FF5: Farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de grão-de-bico fermentados; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

No que diz respeito à capacidade de absorção de água, a FF5 também se destacou, apresentando a maior capacidade de absorção (78,52%), seguida pela FF2 (farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados) com 76,44%. Já a FF3 registrou a menor capacidade de absorção de água (66,55%). Esses resultados indicam que a composição da farinha, especialmente a proporção de grãos de ervilha e grão-de-bico, influencia significativamente sua capacidade de absorção de água, o que pode impactar nas propriedades tecnológicas e no processamento dos alimentos em que são utilizadas.

A Tabela 3 apresenta os dados referente solubilidade das farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados e das suas formulações mistas. Observa-se que as formulações FF2 (farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados) e FF5 (farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de grão-de-bico fermentados) apresentaram as maiores porcentagens de solubilidade, com 61,25% e 62,39%, respectivamente. Enquanto isso, a FF3 (farinha elaborada com 50% de grãos de ervilha e 50% de grão-de-bico fermentados) registrou a menor solubilidade, com 54,18%.

Tabela 3 – Solubilidade de farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados.

Amostras	Solubilidade (%)
FF1	57,92 ± 0,42d
FF2	61,25 ± 0,14b
FF3	54,18 ± 0,55e
FF4	59,04 ± 0,71c
FF5	62,39 ± 0,32a

Legenda: FF1: Farinha elaborada com 100% de grãos de ervilha fermentados; FF2: Farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados; FF3: Farinha elaborada com 50% de grãos de ervilha e 50% de grão-de-bico fermentados; FF4: Farinha elaborada com 70% de grãos de ervilha e 30% de grão-de-bico fermentados; FF5: Farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de

grão-de-bico fermentados; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

Esses resultados indicam que a composição das farinhas influencia significativamente sua solubilidade, sendo que as formulações com maior teor de grão-de-bico tendem a apresentar maior solubilidade. Isso pode estar relacionado às características específicas dos grãos de grão-de-bico, que podem ter uma estrutura mais solúvel em comparação com os grãos de ervilha.

A Tabela 4 apresenta os dados referentes ao teor de proteínas e teor de amido das farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados e das suas formulações mistas. Observa-se que a FF5 (farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de grão-de-bico fermentados) apresentou o maior teor de proteínas (24,63%), seguida pela FF4 (farinha elaborada com 70% de grãos de ervilha e 30% de grão-de-bico fermentados) com 22,76%. Enquanto isso, a FF1 (farinha elaborada com 100% de grãos de ervilha fermentados) registrou o menor teor de proteínas (19,42%).

Esses resultados sugerem que a inclusão de grão-de-bico na formulação aumenta o teor de proteínas da farinha resultante. Além da proporção de grãos de ervilha e grão-de-bico na formulação, outros fatores podem influenciar o teor de proteínas na farinha resultante. O grão-de-bico é conhecido por ter um teor de proteínas geralmente mais elevado em comparação com a ervilha. Portanto, a inclusão de uma maior proporção de grão-de-bico na mistura contribui significativamente para o aumento do teor de proteínas na farinha.

Tabela 4 – Teor de proteínas e teor de amido de farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados.

Amostras	Teor de proteínas (%)	Teor de amido (%)
FF1	19,42 ± 0,10e	29,19 ± 0,34b
FF2	20,11 ± 0,17d	35,28 ± 0,46a
FF3	20,87 ± 0,13c	29,81 ± 0,28b
FF4	22,76 ± 0,08b	25,62 ± 0,12c
FF5	24,63 ± 0,05a	30,08 ± 0,51b

Legenda: FF1: Farinha elaborada com 100% de grãos de ervilha fermentados; FF2: Farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados; FF3: Farinha

elaborada com 50% de grãos de ervilha e 50% de grão-de-bico fermentados; FF4: Farinha elaborada com 70% de grãos de ervilha e 30% de grão-de-bico fermentados; FF5: Farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de grão-de-bico fermentados; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

Quanto ao teor de amido (Tabela 4), a FF2 (farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados) apresentou o maior teor (35,28%), enquanto a FF4 registrou o menor teor (25,62%). Esses resultados indicam que a composição dos grãos utilizados na fermentação afeta diretamente o teor de amido da farinha resultante, com grão-de-bico contribuindo para um aumento no teor de amido. Além disso, o processo de fermentação pode afetar a estrutura do amido presente nos grãos. A fermentação pode quebrar as moléculas de amido em unidades menores, tornando-as mais acessíveis e aumentando assim o teor de amido solúvel na farinha. Isso pode resultar em um aumento geral no teor de amido na farinha fermentada.

A Tabela 5 apresenta os dados referentes ao teor de compostos fenólicos totais das farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados e das suas formulações mistas

Tabela 5 – Compostos fenólicos totais das farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados.

Amostras	Compostos fenólicos totais (mg GAE/100g)
FF1	37,16 ± 0,64e
FF2	75,92 ± 1,10a
FF3	51,67 ± 0,55c
FF4	44,52 ± 0,36d
FF5	56,15 ± 0,44b

Legenda: FF1: Farinha elaborada com 100% de grãos de ervilha fermentados; FF2: Farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados; FF3: Farinha elaborada com 50% de grãos de ervilha e 50% de grão-de-bico fermentados; FF4: Farinha elaborada com 70% de grãos de ervilha e 30% de grão-de-bico fermentados; FF5: Farinha elaborada com 30% de grãos de ervilha e 70% de

grão-de-bico fermentados; Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença estatística significativa ($p < 0,05$) entre as formulações.

Observa-se que a FF2 (farinha elaborada com 100% de grão-de-bico fermentados) apresentou o maior teor de compostos fenólicos totais, com uma média de 75,92 mg GAE/100g. Enquanto isso, a FF1 (farinha elaborada com 100% de grãos de ervilha fermentados) registrou o menor teor de compostos fenólicos totais, com uma média de 37,16 mg GAE/100g. Esses resultados sugerem que o grão-de-bico pode ser uma fonte mais rica de compostos fenólicos em comparação com a ervilha.

Além disso, as formulações que combinam grãos de ervilha e grão-de-bico (FF3, FF4 e FF5) mostraram teores intermediários de compostos fenólicos totais, variando entre 44,52 mg GAE/100g e 56,15 mg GAE/100g. Isso sugere que a inclusão de grãos de ervilha na mistura pode afetar o teor de compostos fenólicos totais, mas o impacto parece ser menor em comparação com o efeito do grão-de-bico.

4 Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que as formulações de farinhas de grãos de ervilha e grão-de-bico fermentados apresentam variações significativas em relação às suas propriedades tecnológicas e composicionais. Observou-se que a inclusão de grão-de-bico nas formulações tende a aumentar o teor de proteínas, amido e compostos fenólicos totais das farinhas resultantes. Além disso, a proporção de grãos utilizada na mistura também influencia essas propriedades, destacando a importância da formulação na obtenção de farinhas com características desejáveis.

Considerando os resultados obtidos, sugere-se que estudos futuros explorem ainda mais os efeitos das diferentes proporções de grãos de ervilha e grão-de-bico na formulação das farinhas, bem como investiguem os efeitos de diferentes processos de fermentação e métodos de processamento na qualidade das farinhas resultantes. Além disso, é importante realizar estudos adicionais para avaliar as propriedades funcionais e sensoriais das farinhas fermentadas, bem como seu potencial de aplicação em produtos alimentícios diversos. Essas investigações podem fornecer informações adicionais e subsidiar o

desenvolvimento de alimentos mais nutritivos e sustentáveis, contribuindo para o avanço do conhecimento na área de ingredientes alternativos e tecnologias alimentares.

5 Referências

A.O.A.C. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International (20th ed.)*. Rockville, Maryland, USA: AOAC international.

Alam, M., Hasan, M. M., Debnath, M. K., Alam, A., Zahid, M. A., Alim, M. A., ... & Biswas, M. (2024). Characterization and evaluation of flour's physico-chemical, functional, and nutritional quality attributes from edible and non-edible parts of papaya. *Journal of Agriculture and Food Research*, 15, 100961.

Cheng, W., Gao, L., Wu, D., Gao, C., Meng, L., Feng, X., & Tang, X. (2020). Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: Its potential use as food ingredients. *Lwt*, 133, 109872.

Cipollone, M. A., Abraham, A. G., Fontana, A., & Tironi, V. A. (2024). Autochthonous Fermentation as a Means to Improve the Bioaccessibility and Antioxidant Activity of Proteins and Phenolic Compounds of Yellow Pea Flour. *Foods*, 13(5), 659.

Farshi, P., Mirmohammadali, S. N., Rajpurohit, B., Smith, J. S., & Li, Y. (2023). Pea protein and starch: Functional properties and applications in edible films. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100927.

Gong, Q., Liu, C., Tian, Y., Zheng, Y., Wei, L., Cheng, T., ... & Zhou, L. (2023). Effect of cavitation jet technology on instant solubility characteristics of soymilk flour: Based on the change of protein conformation in soymilk. *Ultrasonics Sonochemistry*, 96, 106421.

Karlsson, J., Lopez-Sanchez, P., Marques, T. M., Hyötyläinen, T., Castro-Alves, V., Krona, A., & Ström, A. (2024). Physico-chemical properties of pea fibre and pea protein blends and the implications for in vitro batch fermentation using human inoculum. *Food Hydrocolloids*, *150*, 109732.

Mao, H., Yuan, S., Li, Q., Zhao, X., Zhang, X., Liu, H., ... & Wang, M. (2024). Influence of germination on the bioactivity, structural, functional and volatile characteristics of different chickpea flours. *Food Chemistry: X*, 101195.

Patil, N. D., Bains, A., Kaur, S., Yadav, R., Ali, N., Patil, S., ... & Chawla, P. (2024). Influence of dual succinylation and ultrasonication modification on the amino acid content, structural and functional properties of cicer arietinum L. Protein concentrate. *Food Chemistry*, 138671.

Perri, G., Minisci, A., Montemurro, M., Pontonio, E., Verni, M., & Rizzello, C. G. (2023). Exploitation of sprouted barley grains and flour through sourdough fermentation. *LWT*, *187*, 115326.

Sánchez-García, J., Muñoz-Pina, S., García-Hernández, J., Heredia, A., & Andrés, A. (2024). Volatile profile of quinoa and lentil flour under fungal fermentation and drying. *Food Chemistry*, *430*, 137082.

Referências do prefácio

Amaro, G. C., Fidelis, E. G., Silva, R. S., & Medeiros, C. M., 2021. Concentração Espacial da Produção de Bananas (*Musa* spp.) no Brasil. Obtido de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1142274/1/C-Boletim-51-Concentracao-Bananas.pdf>. Em 13 de abril de 2024.

Azevedo, G., 2023. Exportações de frutas brasileiras superam US\$ 1 bilhão em 2023. Obtido de <https://www.canalrural.com.br/agricultura/exportacoes-de-frutas-brasileiras-superam-us-1-bilhao-em-2023/>. Em: 13 de abril de 2024.

Botelho da Silva, T. R., 2021. A FRUTICULTURA BRASILEIRA NO MERCADO EXTERNO: ENTRAVES E PERSPECTIVAS. Obtido de: <https://www.agg.ufv.br/wp-content/uploads/2021/12/TCC-versao-corrigida-THALLES-ROBERTO-BOTELHO-SILVA.pdf>. Em 10 de abril de 2024.

Caldas, J., 2023. Embrapa lança na Agrobrasília cultivares de pitaya e de leguminosa para pastagens. Obtido de <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/80937289/embrapa-lanca-na-agrobrasilia-cultivares-de-pitaya-e-de-leguminosa-para-pastagens#:~:text=com%20entrada%20franca.-,A%20Embrapa%20Cerrados%20lan%C3%A7ou%20as%20cultivares%20de%20pitaya%3A%20BRS%20Lua,e%20BRS%20%C3%82mbar%20do%20Cerrad>o. Em: 11 de abril de 2024.

Farmbox, 2023. Grão-de-bico: principais dúvidas sobre o cultivo que todo o produtor precisa saber. Obtido de <https://www.farmbox.com.br/post/gr%C3%A3o-de-bico-principais-d%C3%BAvidas-sobre-o-cultivo-que-todo-o-produtor-precisa-saber#:~:text=%C3%A9%20um%20alimento%20rico%20em,passava%20dos%2012%20mil%20hectares>. Em: 13 de abril de 2024.

Florentino, J., & Figliagi, L. F., 2024. Agro deve contribuir menos com o PIB em 2024, dizem especialistas. Obtido de <https://globo.com/economia/noticia/2024/03/agro-nao-deve-contribuir-tanto-com-o-pib-em-2024-dizem-especialistas.ghtml>. Em 10 de abril de 2024.

Horto Didático de Plantas Medicinais. 2019. Alecrim. Obtido de <https://hortodidatico.ufsc.br/alecrim/>. Em 12 de abril de 2024.

Junghans, T. G., & de Jesus, O. N., 2017. Maracujá: Do cultivo à comercialização. Obtido de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1081724/1/MARACUJA-do-cultivo-a-comercializacao-ed01-2017.pdf>. Em: 10 de abril de 2024.

Kreling, B. E., Tonet, C., Cossul, F. A., Moreira, J. D., & Pimenta, B. D., 2023. A CULTURA DA PITANGUEIRA (*Eugenia uniflora*): UMA REVISÃO SOBRE ASPECTOS DA PROPAGAÇÃO SEXUADA E ASSEXUADA. Obtido de <file:///C:/Users/renato.veiga/Downloads/a-cultura-da-pitangueira-eugenia-uniflora-uma-revisao-sobre-aspectos-da-propagacao-sexuada-e-assexuada.pdf>. Em 10 de abril de 2024.

Mittermeier, R. A., Ayres, J. M., Werner, T. e Fonseca, G. A. B. (1992). O país da megadiversidade. *Ciência Hoje*, 14(81):20-27.

McNeely, J. A., Miller, K. R., Reid, W. V., Mittermeier, R. A., & Werner, T. B., 1990. Conserving de Word: Biological Diversity. Obtido de <https://documents1.worldbank.org/curated/en/330981468762368155/pdf/multi-page.pdf>. Em 13 de abril de 2024.

Moura, M. F., Hernandez, J. L., & Júnior, M. P. (2021). Uvas de interesse econômico para vinificação e consumo in natura. Obtido de <https://www.esalq.usp.br/visaoagricola/sites/default/files/va14-uvas-de-intesse-economico-para-vinificacao-e-consumo-in-natura.pdf>. Em: 12 de abril de 2024.

Moreira, N., 2023. Cresce produção de abacate no Brasil. Obtido de <https://revistacultivar.com.br/noticias/cresce-producao-de-abacate-no-brasil#:~:text=O%20IBGE%2C%20Instituto%20brasileiro%20de,ocupar%2018%2C1%20mil%20hectares>. Em: 11 de abril de 2024.

Nunes, E. N., Sousa, A. S. B., Lucena, C. M., Silva, S. M., Lucena, R. F. P., Alves, C. A. B., & Alves, R. E., 2014. Pitaia (*Hylocereus* sp.): Uma revisão para o Brasil. Obtido de <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137850/1/ART15058.pdf>. Em: 12 de abril de 2024.

Tomm, G. O., Giordano, L. B., Santos, H. P., & Rosinha, R. C. (1999). Leguminosas de grãos como alternativas de inverno. Obtido de http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/p_co09.htm. Em: 11 de agosto de 2024.

Thalles Roberto Botelho da Silva, 2021. A FRUTICULTURA BRASILEIRA NO MERCADO EXTERNO: ENTRAVES E PERSPECTIVAS. Obtido de: <https://www.agq.ufv.br/wp-content/uploads/2021/12/TCC-versao-corrigida-THALLES-ROBERTO-BOTELHO-SILVA.pdf>. Em:12 de abril de 2024.

VAVILOV, N. I. The origin, variation, immunity and breeding of cultivated plants. Waltham, Mass: Chronica Botanica, 1951.



AGRON FOOD
ACADEMY



ISBN 978-658506219-0



9

786585

062190