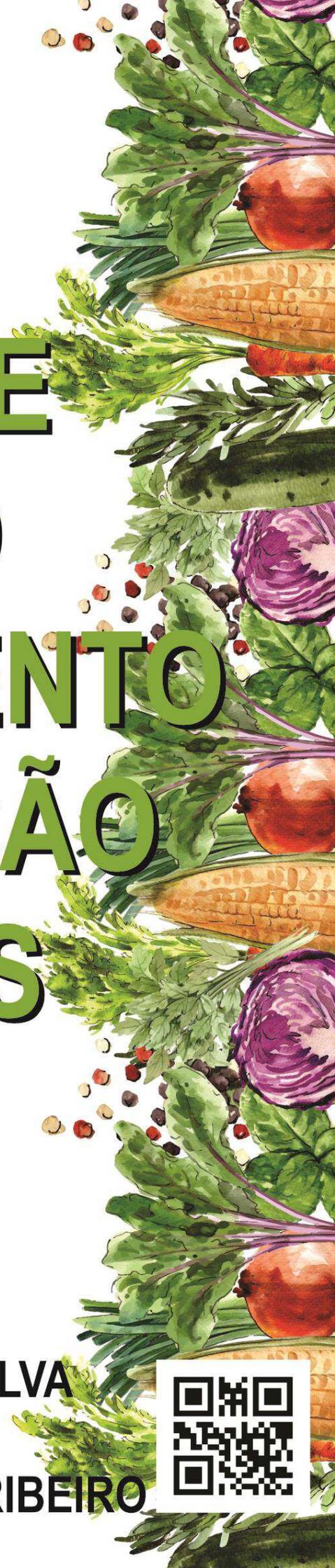




TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO PROCESSAMENTO E PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS



VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA
NEWTON CARLOS SANTOS
VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO



TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO PROCESSAMENTO E PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

T227 Tecnologia e Inovação no Processamento e Preservação de Alimentos/Silva et al.
— Campina Grande: EPTEC, 2023.
105 f.: il. color.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia

ISBN: 978-65-00-70519-5

1. Pré-tratamentos. 2. Frutas exóticas. 3. Alimentos em pó. 4. Secagem. 5. Atividade antioxidante. I. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara. II. Santos, Newton Carlos. III. Ribeiro, Victor Herbert de Alcântara. IV. Título.

CDU 62

Os autores declaram que não há conflito de interesse.

Os capítulos ou materiais publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. As opiniões neles emitidas não exprimem, necessariamente, o ponto de vista do Editor responsável. Sua reprodução parcial está autorizada desde que cite a fonte.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob a Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição-Não-Comercial-Não Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

2023 by Eptec

Copyright © Eptec

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Eptec

Direitos para esta edição cedidos à Eptec pelos autores.

Open access publication by Eptec

Créditos das Imagens da capa e dos capítulos

Pixabay/Freepick

Editoração, Revisão e Arte da Capa

Paulo Roberto Megna Francisco

Conselho Editorial

Claudiomir Silva Santos (IFSULMINAS)

Djail Santos (CCA-UFPB)

Dermeval Araújo Furtado (CTRN-UFCG)

Flávio Pereira de Oliveira (CCA-UFPB)

George do Nascimento Ribeiro (CDSA-UFCG)

Gypson Dutra Junqueira Ayres (CTRN-UFCG)

João Miguel de Moraes Neto (CTRN-UFCG)

José Wallace Barbosa do Nascimento (CTRN-UFCG)

Lúcia Helena Garófalo Chaves (CTRN-UFCG)

Luciano Marcelo Fallé Saboya (CTRN-UFCG)

Newton Carlos Santos (UFRN)

Paulo da Costa Medeiros (CDSA-UFCG)

Paulo Roberto Megna Francisco (CTRN-UFCG)

Raimundo Calixto Martins Rodrigues (DEAG-UEMA)

Soahd Arruda Rached Farias (CTRN-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva (CTRN-UFCG)

Viviane Farias Silva (CSTR-UFCG)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro

TECNOLOGIA E INOVAÇÃO NO PROCESSAMENTO E PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS



1.a Edição
Campina Grande-PB
2023

REALIZAÇÃO



APOIO



SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	6
PREFÁCIO	9
APRESENTAÇÃO	11
<i>Impacto do pré-tratamento com ultrassom nos compostos bioativos e propriedades antioxidantes de cascas de Granadilla (Passiflora ligularis juss) desidratadas</i>	17
<i>Aplicação do pré-tratamento de congelamento-descongelamento assistido por microondas na secagem de fatias de kiwi (Actinidia deliciosa)</i>	29
<i>Desidratação osmótica de cubos de maçã da polpa colorida: influência do agente osmótico e da liofilização na textura e compostos fenólicos</i>	54
<i>Caracterização físico-química, bioativa, antioxidante e microbiológica de kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano</i>	66
<i>Comportamento reológico do extrato de soja em pó reconstituído em diferentes concentrações</i>	78
<i>Bebida mista em pó composta por banana, abacate e leite obtida por spray dryer: influência da temperatura nas propriedades do pó</i>	88
CURRICULUM DOS ORGANIZADORES E AUTORES	102

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é resultado do comprometimento e da determinação de uma equipe de pesquisadores alinhados com os protocolos exigidos internacionalmente para desenvolver as melhores formulações de alimentos, utilizando processos tecnológicos de ponta, em consonância com o alinhamento global dos padrões de segurança de alimentos *GFSI - Global Food Safety Initiative* proporcionando a melhoria na eficiência de custos em toda a cadeia de fornecimento.

Assim, graças ao uso de processos tecnológicos, como secagem, pré-tratamento dentre outros conseguimos desenvolver pesquisas inéditas utilizando matérias-primas estratégicas, como frutas exóticas, a exemplo da granadilha, kiwano e kino, além de outros ingredientes como a banana, o abacate, o extrato de soja, leite dentre outras.

Toda a pesquisa está em conformidade com as diretrizes estabelecidas durante o Food Systems Summit, realizado em setembro de 2021 pela ONU e FAO, que tem como principal objetivo a reforma dos sistemas alimentares, evitando perdas e desperdícios de produtos, promovendo a reutilização e incentivando o desenvolvimento de novos produtos.

Nesse momento, expressamos o nosso agradecimento ao Pesquisador Renato Ferraz de Arruda Veiga, por sua orientação ao longo de nossa caminhada e pela escolha estratégica de todas as matérias-primas utilizadas no desenvolvimento desta pesquisa. Destacamos nossa constante admiração da Prof. Vania Moda Cirino.

Agradecemos em especial ao Professor Marcelo Breganolli, que desde 2018 tem fortalecido a importância da tecnologia e inovação no processamento de alimentos para melhorar a qualidade, segurança alimentar e a competitividade do setor alimentício brasileiro. Seus conhecimentos e experiência têm sido fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas e projetos em colaboração com empresas e instituições do setor.

De igual modo, agradecemos ao Prof. Alexandre Santos de Souza por compartilhar suas valiosas informações sobre os processos tecnológicos, bem como suas novas formulações de bebidas, com destaque para a maltagem. Seus conhecimentos têm sido fundamentais para a inspiração de nossas pesquisas e projetos na área de bebidas.

A obra é representa nossa contribuição em desenvolver processos tecnológicos utilizando matérias-primas estratégicas para garantir melhor nutrição e sustentabilidade, bem como segurança alimentar. Alinhada com as diretrizes da FAO, que enfatiza a necessidade de transformação dos sistemas agroalimentares em um mundo que enfrenta constantes desafios, para consolidação do Marco Estratégico da FAO 2022-2031 que articula a visão da organização de um mundo sustentável no qual todas as pessoas tenham segurança alimentar, no contexto da agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável, sustentado pelos quatro pilares dessa visão que são: melhor produção, melhor nutrição, melhor ambiente e melhor qualidade de vida.

Desse modo, expresso 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 essencial 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

DEDICATÓRIA

Esta edição é dedicada ao amigo e Professor Marcelo Breganelli, cujo apoio e incentivo desde 2015 têm sido fundamentais para a pesquisa da equipe. Agradecemos por sua valiosa contribuição e por ser um parceiro essencial na nossa busca por soluções mais sustentáveis e equitativas para os desafios alimentares globais.

PREFÁCIO

Nos últimos anos, a tecnologia tem desempenhado um papel crucial no processamento de alimentos em todo o mundo. Países como o Brasil, China, Índia, Estados Unidos e diversos países africanos estão cada vez mais investindo em novas tecnologias para atender à crescente demanda por alimentos processados seguros e de alta qualidade visando o crescimento populacional estimado e a mudança climática.

Nesse contexto, este livro é uma importante contribuição para a área de processamento de alimentos, pois descreve os principais processos utilizados para a produção de alimentos a partir de matérias-primas estratégicas como a Granadilha (*Passiflora ligularis*), Kiwano (*Cucumis metuliferus*), Maçã colorida (*Malus spp.*), Kiwi (*Actinidia deliciosa*), Banana (*Musa spp.*), Abacate (*Persea americana*), o extrato de soja e o leite. Pois são ricos em compostos bioativos, flavonoides e outros nutrientes essenciais, cada matéria-prima apresenta características únicas que são destacadas neste livro.

Por exemplo, a granadilha é rica em vitamina C e carotenoides, o kiwano é fonte de vitamina E e potássio, a maçã colorida é rica em antioxidantes, o kiwi é fonte de vitamina K e ácido fólico, a banana é rica em fibras e potássio, o abacate é rico em gorduras monoinsaturadas e vitamina E, o extrato de soja é fonte de proteínas e isoflavonas, e o leite é fonte de cálcio e vitamina D.

O conhecimento sobre esses nutrientes é fundamental para o desenvolvimento de alimentos mais saudáveis e nutritivos. Cada capítulo deste livro apresenta uma técnica específica utilizando de maneira eficiente cada processo que inclui desde o pré-tratamento com ultrassom para extração de compostos bioativos, o pré-tratamento de congelamento-descongelamento assistido por microondas, a desidratação osmótica, a caracterização físico-química, bioativa, antioxidante e microbiológica, comportamento reológico e influência da temperatura nas propriedades da matéria-prima final.

A importância da equipe envolvida neste livro vai além da contribuição para o desenvolvimento de novas tecnologias de processamento de alimentos. Toda a pesquisa desenvolvida pela equipe está alinhada aos objetivos fundamentais para garantir a segurança

alimentar e a conformidade com os ODS relacionados à fome, saúde, bem-estar e sustentabilidade, essenciais para o desenvolvimento sustentável da agricultura e produção de alimentos.

A Organização das Nações Unidas e a FAO reconhecem que a tecnologia é uma importante ferramenta para promover a segurança alimentar de diversos países e têm incentivado pesquisas e ações nesse sentido. E este livro é uma valiosa referência para pesquisadores, estudantes e profissionais da indústria de alimentos que buscam compreender as técnicas mais recentes e eficientes para o processamento de alimentos.

Esperamos que esta obra inspire novas pesquisas e contribua para o avanço do setor alimentício, promovendo a segurança alimentar e o desenvolvimento sustentável em todo o mundo, incluindo a África. Tenho a honra de apresentar essa nova coleção que está sendo produzida ao longo de 2023 distribuída de forma gratuita para contribuir com a disseminação do conhecimento e incentivar a pesquisa e inovação no setor de processamento de alimentos em todo o mundo.

Espero que essa obra seja útil para os leitores e que possa auxiliar no desenvolvimento de novas tecnologias e práticas sustentáveis na produção de alimentos, garantindo a segurança alimentar e o bem-estar da população global.

Marcelo Bregagnoli

Reitor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais

APRESENTAÇÃO

Dr. Renato Ferraz de Arruda Veiga
Diretor Administrativo - FUNDAG

Este livro é uma obra detalhada sobre tecnologia, inovação e sustentabilidade, no processamento e preservação de alimentos, descrevendo minuciosamente técnicas modernas de secagem, que utiliza matérias-primas relevantes para diversos países, já que a maioria das espécies utilizadas são exóticas. Tais técnicas visam a agregação de valor, a segurança alimentar e a redução no impacto ambiental, aplicadas sozinhas ou combinadas, ao produzir componentes funcionais para novos alimentos e fármacos, entre outros.

As técnicas aqui utilizadas vão desde o pré-tratamento na extração de compostos bioativos até análises químicas e físicas para a caracterização da matéria prima final. Ao ler os capítulos observa-se que exploram a influência de diferentes condições de processamento das propriedades alimentícias. Aos dados resultantes dos estudos foram aplicados modelos matemáticos fundamentais à conclusão de eficiência.

Observa-se uma excelente avaliação das análises químicas e físicas, como na determinação de compostos bioativos, do teor de açúcares, da acidez, do pH, da atividade antioxidante, da digestão gastrointestinal in vitro simulada, entre outras. Também, verifica-se a influência de diferentes condições no processamento das propriedades dos alimentos, como o pré-tratamento com ultrassom, a secagem assistida por micro-ondas, a desidratação osmótica, etc.

As matérias-primas escolhidas demonstraram ser estratégicas pelos seus nutrientes, características físicas e químicas, apresentadas em ordem alfabética por nomes vulgares: o Abacate (*Persea americana* Mill.), a Banana (*Musa acuminata* Colla), a Maçã-da-polpa-colorida (*Malus pumila* Mill.), o Maracujá-doce ou granadilla (*Passiflora ligularis* A. L. Juss.), o Quiwi (*Actinidia deliciosa* (A. Chev.) E. F. Liang et al. A.R. Ferguson), o Pepino-africano (*Cucumis metuliferus* E. Meyer ex Naudin), e a Soja (*Glycine max* (L.) Merr.), para o desenvolvimento de novos alimentos.

Sobre as espécies aqui utilizadas:

O Abacate é uma espécie arbórea originária desde o México até a Colômbia. As características do fruto são muito variáveis segundo a raça e a cultivar. Predominam os frutos na forma de pera, mas há os esféricos e ovóides. São em geral assimétricos, com um lado mais grosso, nos quais se formam mais fibras ou feixes vasculares. São ricos em gordura monoinsaturada chegando a 30% do seu peso, muito nutritivo, de fácil digestão, o que aumenta conforme a maturação. Sua polpa é rica em proteínas, vitaminas A, C e E, e ácido fólico, com possíveis benefícios para a saúde cardiovascular (LEÓN, 1987; DREHER & DAVIES, 2013).

A Bananeira, uma espécie herbácea, tem na *M. acuminata* uma das principais fontes de origem às suas principais variedades cultivadas. Estudos farmacológicos e uso tradicional mostram que seu extrato tem atividade antioxidante, antidiabética, imunomoduladora, hipolipidêmica, anticancerígena e antimicrobiana, especialmente anti-HIV. Seu fruto fornece energia, vitaminas e minerais (MATHEW et al., 2017).

É fonte de carboidratos, fibras, vitaminas do complexo B e minerais como potássio, contribuindo para o bom funcionamento do organismo (KUBERSKI et al., 2016). As espécies da família Musaceae originam-se das regiões tropicais quentes do Sudeste Asiático (SIMMONDS & SHEPHERD, 1955).

A Maçã-da-polpa-colorida é uma espécie de maçã arbórea cujos frutos são de polpa com coloração vermelha, rosa ou amarela. Originária da América do Sul, inclusive do Brasil (Nordeste, Sudeste e Sul), é fonte de vitaminas, fibras e antioxidantes, podendo contribuir para a prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (SHI et al., 2020).

O Maracujá-doce é uma trepadeira, lenhosa, originária da América Tropical, muito consumida na Colômbia e Equador, e mesmo em outros continentes como no caso da Austrália e Índia. Apesar de o Brasil ser considerado centro de origem de diversas espécies de *Passiflora* são raras as pesquisas sobre os aspectos agrônômicos, exceção para os maracujás (*Passiflora edulis Sims*) nativo e produzidos comercialmente no Brasil, nas cores amarelo-pálido, amarelo, amarelo-alaranjado, vermelho-rosado, vermelho, roxo-avermelhado, roxo-esverdeado, roxo e roxo-escuro (BERNACCI et al., 2008).

É rica em vitaminas, minerais e antioxidantes, sendo considerada um alimento funcional que pode contribuir para a prevenção de doenças cardiovasculares e neurodegenerativas (RAMÍREZ et al., 2020).

O Pepino-africano é uma trepadeira, arbustiva, originária da África, também conhecida como melão africano ou pepino espinhoso. Também é cultivada em outras partes do mundo,

incluindo América do Sul e Central, Austrália e Nova Zelândia. É fonte de vitaminas, minerais e antioxidantes, com propriedades anti-inflamatórias e antimicrobianas (MASHAU et al., 2021).

Além disso, o kiwano é importante para as comunidades rurais na África, onde é cultivado principalmente como cultura de subsistência. Segundo Abong' e Imungi (2008), o Pepino-africano é uma fonte importante de alimento e renda para as famílias rurais na África, e o cultivo da fruta pode ajudar a melhorar a segurança alimentar.

O Kiwi é uma fruta trepadeira, sarmentosa e lenhosa, nativa da China, muito apreciada por seu sabor doce e ácido. É rico em vitamina C, fibras e antioxidantes, com potenciais efeitos benéficos na saúde gastrointestinal, imunológica e cardiovascular (JIN et al., 2021).

A soja é uma oleaginosa herbácea, originária do continente Asiático, das mais relevantes mundialmente. Contém compostos fitoquímicos como as isoflavonas, as saponinas, o ácido fítico, os inibidores de tripsina, os fitosteróis, os ácidos fenólicos e as lectinas ou fitohemaglutininas. Todos estes compostos possuem uma ou várias funções nos organismos dos animais.

Há evidências científicas de que os ácidos fenólicos presentes em grãos de soja, farinha de soja desengordurada, concentrado e isolado proteico de soja e dos ácidos cinâmicos encontrados também nesses produtos apresentam uma atividade antioxidante significativa (MANDARINO, 2023). O extrato de soja é obtido a partir da soja e é rico em proteínas, isoflavonas e fibras, apresentando possíveis benefícios para a saúde óssea, cardiovascular e hormonal (MESSINA, 2016).

Sobre os Capítulos do Livro:

Capítulo 1 - "Impacto do Pré-Tratamento com Ultrassom nos Compostos Bioativos e Propriedades Antioxidantes de Cascas de Maracujá-doce Desidratadas": Aqui é avaliado o efeito do pré-tratamento com ultrassom nos compostos bioativos e propriedades antioxidantes de cascas desidratadas. As técnicas utilizadas incluem a determinação do conteúdo fenólico total (CFT), teor de taninos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante.

Capítulo 2 - "Aplicação do Pré-Tratamento de Congelamento-Descongelo Assistido por Micro-ondas na Secagem de Fatias de kiwi: Este capítulo descreve a aplicação do pré-tratamento de congelamento-descongelo assistido por micro-ondas na secagem de fatias do fruto. As técnicas utilizadas incluem um secador de leito fixo para os experimentos

de secagem, um difratômetro de raios X para determinar os padrões XRD das fatias do fruto desidratadas, além da determinação de compostos fenólicos totais (TPC) e da digestão gastrointestinal in vitro simulada para avaliar a bioacessibilidade dos compostos bioativos.

Capítulo 3 - "Desidratação Osmótica de Cubos de Maçã da Polpa Colorida: Influência do Agente Osmótico e da Liofilização na Textura e Compostos Fenólicos": Este capítulo apresenta o estudo da influência do tipo e da concentração do agente osmótico durante a desidratação de cubos dos frutos e da liofilização no teor de compostos fenólicos e na textura dos cubos desidratados. As técnicas utilizadas incluem a desidratação osmótica dos cubos dos frutos utilizando açúcar cristal e xilitol, a determinação do conteúdo fenólico total (CFT) e da firmeza.

Capítulo 4 - "Caracterização Físico-Química, Bioativa, Antioxidante e Microbiológica de Kombucha (bebida probiótica) de Chá Preto Saborizada com Polpa de Pepino-africano": Neste capítulo, é realizada a caracterização físico-química, bioativa, antioxidante e microbiológica de kombucha de chá preto saborizada com polpa de Pepino-africano. As técnicas utilizadas incluem a determinação de açúcares totais, pH e acidez total, conteúdo fenólico total (CFT), antocianinas totais, atividade antioxidante, além da análise microbiológica.

Capítulo 5 - "Comportamento Reológico do Extrato de Soja em Pó Reconstituído em Diferentes Concentrações": Este capítulo descreve o comportamento reológico do extrato de sementes em pó reconstituído em diferentes concentrações. As técnicas utilizadas incluem a avaliação da viscosidade, da tensão de cisalhamento e do índice de fluxo em função da concentração.

Capítulo 6 - "Bebida Mista em Pó Composta por Abacate, Banana e Leite Obtida por Spray Dryer: Influência da Temperatura nas Propriedades do Pó": Neste capítulo, é avaliada a influência da temperatura nas propriedades de uma bebida mista em pó composta por Abacate, Banana e leite obtida com secagem por pulverização (spray dryer). As técnicas utilizadas incluem a determinação do potencial zeta, higroscopicidade e solubilidade do pó.

Sobre a equipe e relevância do trabalho:

O livro foi escrito por uma equipe experiente e sinérgica em especialidades diversas como: biologia, engenharia, química industrial e tecnologia de alimentos. Objetivou oferecer resultados relevantes ao desenvolvimento da ciência agrônoma, à evolução tecnológica e produtiva da agricultura, e à sustentabilidade agrícola, ao implantar um sistema com modelo adequado à produção de alimentos funcionais. Considera-se uma obra relevante tanto para estudantes como para especialistas que atuam na área de processamento e preservação de alimentos, à agroindústria e àqueles que buscam inovação e sustentabilidade no setor.

Referências

ABONG', G. O.; IMUNGI, J. K. Domesticação e comercialização de kiwano (*Cucumis metuliferus*) na África Oriental e Austral. *Acta Horticultura*, v.790, p.87-93, 2008.

BERNACCI, L. C.; SOARES-SCOTT, M. D.; JUNQUEIRA, N. T. V.; PASSOS, I. R. S.; MELETTI, L. M. *M. Passiflora edulis* Sims: a maneira taxonômica correta de referir-se ao maracujá-amarelo (e aos de outras cores). *Rev. Bras. Frutic.*, v.30, n.2, 2008.

DREHER, M. L.; DAVIES, C. A. Consumo de frutas e hortaliças e risco de doenças crônicas. *Anais da Sociedade de Nutrição*, v.72, n.4, p.457-462, 2013.

JIN, X.; SHI, J.; ZHANG, H.; LIU, M.; ZHAO, Y. Impact of microwave-assisted freezing and thawing pretreatment on the physicochemical properties and in vitro digestibility of cherry fruits (*Prunus avium* L.) *LWT-Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.144, e111218, 2021.

KUBERSKI, S.; KUCHARSKA, A. Z.; GLISZCZYŃSKA-ŚWIGŁO, A. Identification of mango (*Mangifera indica* L.) flavonoids in honey by high performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ionization mass spectrometry. *Food Chemistry*, v.192, p.218-226, 2016.

LEÓN, J. *Botânica de los Cultivos Tropicales*. Servicio Editorial IICA, San José, 1987. 445p.

MANDARINO, J. M. G. *Compostos fitoquímicos da soja e seus benefícios para a saúde humana*.

Ano. 2018 Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1355202/1529289/Compostos+fitoqu%C3%ADmicos+dasoja+e+seus+benef%C3%ADcios+para+a+sa%C3%BAde+humana.pdf/c029ea78-a214-c133-b9e-cbd9f86387d4>. Acesso em: 09/05/2023.

MASHAU, M. E.; ODUNFA, S. A.; NEL, L. H. Effect of osmotic dehydration pretreatments on the quality attributes of solar dried mango. *Heliyon*, v.7, n.3, e06448, 2021.

MESSINA, M. Impact of soy-based foods on breast cancer development and prognosis in breast cancer patients. *Forschende Komplementärmedizin*, v.23, n.2, p.75-80, 2016.

RAMÍREZ, E.; DEL VALLE, J. M.; ACOSTA, O.; GUZMÁN, C.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C. Impact of ultrasound pretreatment on bioactive compounds and antioxidant properties of dehydrated granadilla (*Passiflora ligularis Juss*) peels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, v.63, e102387, 2020.

SIMMONDS M. A.; FLS, K.; SHEPHERD. A taxonomia e as origens das bananas cultivadas. 1955. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1095-8339.1955.tb00015.x>. Acesso em: 09/05/2023.

SHI, J.; JIN, X.; ZHANG, H.; LIU, M.; ZHAO, Y. Combined effects of ultrasound and microwave pretreatment on physicochemical properties and in vitro digestibility of cherry fruits (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, v.312, e126088, 2020.



CAPÍTULO I

Impacto do pré-tratamento com ultrassom nos compostos bioativos e propriedades antioxidantes de cascas de Granadilla (Passiflora ligularis juss) desidratadas

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Raniza de Oliveira Carvalho
Thaís Jaciane Araújo Rodrigues
Michael Marcos de Aquino Gomes
Juvêncio Olegário de Oliveira Neto
Matheus Felipe de Aquino Gomes**

Introdução

Frutas tropicais exóticas não são atraentes apenas por sua sabores e aromas característicos, mas também porque eles são considerados uma fonte valiosa de compostos bioativos benéficos (SVIECH et al., 2022). Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) é uma fruta exótica que pode ser encontrado nas terras altas da Indonésia, Nova Guiné, Jamaica, Sri Lanka, Índia e vários outros países tropicais de regiões em todo o mundo.

É considerada economicamente importante pela qualidade de seus frutos e/ou propriedades nutracêuticas; a polpa é rica em compostos polifenólicos, como ácido elágico, gálico teor de ácido, rutina, canferol e ácido cafeico, todos que demonstram potente antioxidante, antidiabético e propriedades antimicrobianas. O consumo de granadilla principalmente na forma fresca ou em sucos e sorvetes, gera uma quantidade considerável de resíduos (SANTOS et al., 2021), como as cascas e sementes.

Segundo Bas-Bellver et al. (2022), diversas tecnologias visam agregar valor aos resíduos de frutas e reduzir seu impacto ambiental. Estes incluem transformações químicas, físicas e biológicas aplicadas sozinhas ou combinadas para produzir componentes funcionais, novos alimentos, produtos químicos extraídos, biocombustíveis, entre outros. Resíduos de frutas na sua forma desidratada (em pó), podem ser armazenados com sucesso e utilizados no desenvolvimento de produtos de panificação, por exemplo (BAS-BELLVER et al., 2022).

A secagem é uma operação unitária essencial na indústria de alimentos e é o método mais antigo para prolongar a vida útil de produtos alimentícios, inibindo o crescimento microbiano e as enzimas. Os produtos secos requerem menos embalagem, têm melhor estabilidade microbiológica, duram mais no armazenamento e pesam menos quando transportados (DADHANEYYA et al., 2023).

A aplicação de secagem com ar quente em cascas de frutas pode encurtar significativamente o tempo de secagem e resultar em mudanças significativas nos seus parâmetros de qualidade e no valor da taxa de reidratação (ZHANG et al., 2022).

Nesse sentido, a utilização de técnicas avançadas para processamento de alimentos tem sido um tema de interesse para pesquisadores na área de tecnologia de alimentos. Dentre essas técnicas, destaca-se o uso de ultrassom como ferramenta para a secagem de alimentos.

De acordo com Hafez et al. (2019), o ultrassom é capaz de acelerar a secagem de frutas, verduras e legumes, reduzindo o tempo de processamento e o consumo de energia. Além disso, estudos demonstram que a aplicação de ultrassom nos alimentos tem efeito direto nas propriedades físicas deles. Segundo Singh et al. (2018), a aplicação de ultrassom aumenta a

porosidade da estrutura celular dos alimentos, melhorando a difusividade de água durante o processo de secagem e reduzindo a taxa de secagem superficial.

Já de acordo com Jin et al. (2021), o ultrassom pode modificar as propriedades viscoelásticas dos alimentos, permitindo que a estrutura celular permaneça mais firme durante o processo de secagem. Por fim, é importante ressaltar que a aplicação de ultrassom na secagem de alimentos apresenta vantagens em relação a outros métodos convencionais.

Durante a aplicação de ultrassom nos alimentos, ocorrem diversos processos físicos e químicos, as ondas geradas pelo equipamento são capazes de criar regiões de alta pressão e baixa pressão, o que leva à formação de bolhas de ar na matriz do alimento (GOYAL et al., 2020), com o aumento da amplitude da onda, a bolha se expande e, posteriormente, implode, gerando ondas de choque e cavitação, esse processo resulta em micro rupturas nas células dos alimentos e na liberação de compostos bioativos.

Segundo Kumar et al. (2017), o uso de ultrassom pode aumentar a eficiência de extração de compostos bioativos e a qualidade sensorial de alimentos, além de melhorar a estabilidade microbiológica dos produtos. Portanto, o objetivo desse estudo é avaliar a influência do tempo de sonicação, nas propriedades bioativas e antioxidantes de cascas de granadilla submetidas a uma etapa posterior de secagem convectiva.

Material e Métodos

Amostra

Para realização desse trabalho foram utilizadas cascas do fruto granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.). O fruto (Figura 1) foi adquirido na Central de Fornecimento e Abastecimento de Produtos Agrícolas do Estado da Paraíba, Brasil. Inicialmente os frutos foram higienizados e sanitizados com hipoclorito de sódio (100 ppm/10min) seguindo de uma etapa de enxágue. Com auxílio de uma faca doméstica suas cascas foram removidas e sua polpa foi armazenada.



Figura 1. Fruto Granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.)

Fonte: Mercado Livre.

Etapa de pré-tratamento com ultrassom

As cascas foram tratadas por ultrassom, sendo mantidas em banho em três diferentes tempos de sonicação, sendo eles 10, 20 e 30 min. O ultrassom foi transmitido em banho ultrassônico com termostato (Unique, modelo USC-2850A, Brasil) sem agitação mecânica, frequência de 25 kHz e a intensidade de 4870 W m⁻². A Figura 2, demonstra de forma ilustrativa a etapa de pré-tratamento.



Figura 2. Etapa de pré-tratamento com ultrassom das cascas de granadilla antes do processo de secagem.

Procedimento de secagem

A secagem das cascas de granadilla sem e com pré-tratamento foi realizada em triplicata, utilizando estufa de circulação forçada de ar ajustada para operar na temperatura de 70°C e com velocidade do ar de 2,0 m/s (Figura 3). O processo de secagem foi continuado até que a leitura constante da massa (equilíbrio) fosse registrada, utilizando uma balança digital de precisão de 0,001g. Após o processo de secagem, todas as amostras foram submetidas a uma etapa de moagem para obtenção do pó.

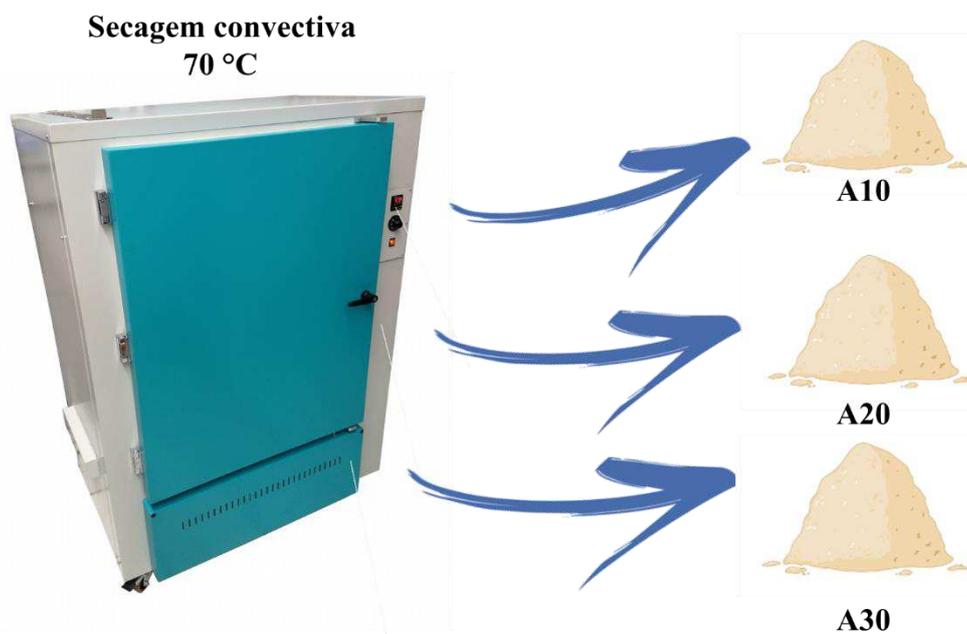


Figura 3. Protocolo de secagem das cascas de granadilla para obtenção do seu pó.

Determinação do conteúdo fenólico total (CFT)

Inicialmente um extrato aquoso foi preparado. Para isso, 1g de pó foi adicionado a 30 mL de água, em seguida, a mistura foi agitada por 1 h usando agitação magnética no escuro. O sobrenadante foi coletado após centrifugação a 10.000× g por 10 min a 4°C. O ensaio de Folin-Ciocalteu foi utilizado para determinar o CFT do extrato do pó da casca de granadilla (CHENG et al., 2023). Resumidamente, 0,5 mL de extrato foram misturados com 2 mL de Na₂CO₃ 7,5% (p/v) e 2 mL de reagente Folin-Ciocalteu. O valor da absorbância foi medido a 760 nm após 40 min de reação no escuro à temperatura ambiente. O CFT no extrato foi calculado como equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100g).

Determinação do teor de taninos totais

Na determinação de taninos, empregou-se a metodologia descrita por Goldstein e Swain (1963), utilizando ácido tânico para construção da curva padrão (concentração da curva) com leituras em leitor UV-visível a 765 nm. Os resultados foram expressos em mg de equivalente ao ácido tânico (EAT)/100 g de amostra (mg EAT/100g).

Determinação de flavonoides totais

Os flavonoides foram determinados pela metodologia de Francis (1982), macerando-se cerca de 1g de amostra em almofariz com 10 mL de Etanol-HCl (1.5 N) na proporção 85:15, em ambiente escuro, deixando-se em repouso a 5°C por 24 h. Logo após, as amostras foram

filtradas em papel de filtro e as leituras realizadas em leitor UV-visível a 374 nm. Os resultados foram expressos em mg/100g.

Determinação da atividade antioxidante

A atividade antioxidante dos pós foi avaliada medindo-se as atividades de eliminação de radicais livres DPPH e poder antioxidante redutor férrico (FRAP). O DPPH e FRAP foram medidos de acordo com o método descrito por Ahmed et al. (2022). Um espectrofotômetro foi usado para medir a absorbância em 517 e 700 nm para DPPH e FRAP, respectivamente.

Análise estatística

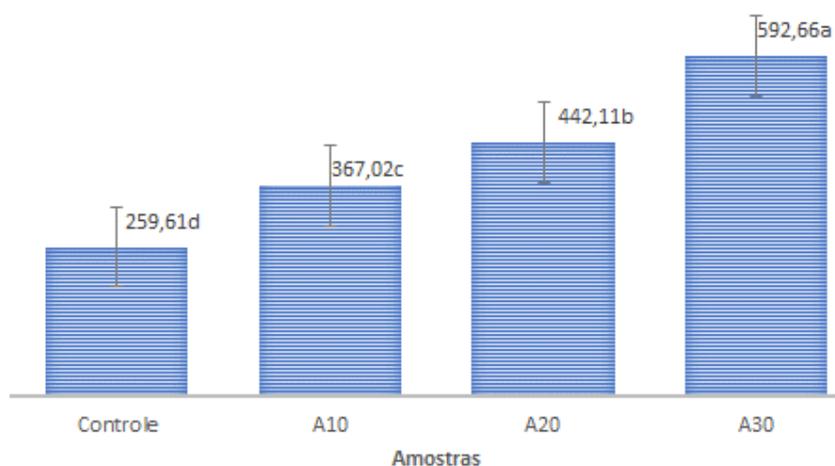
Os dados experimentais foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7.

Resultado e Discussão

Os compostos fenólicos são amplamente conhecidos por sua atividade de eliminação de radicais e são usados como agentes redutores, doadores de hidrogênio ou elétrons e quelantes de metais. Além disso, apresentam boas propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, que desempenham papéis importantes na saúde humana (SBOTI et al., 2023). Na Figura 4, são apresentados os valores obtidos para o conteúdo fenólico total das cascas de granadilla controle (ou seja, sem pré-tratamento) e pré-tratadas com ultrassom (A10, A20 e A30) secas à 70°C.

O tempo de sonicação influenciou significativamente ($p < 0.05$) no aumento de CFT dos pós obtidos. O aumento do tempo de sonicação, aumentou em 30, 41 e 56% o teor de CFT, em relação ao pó controle, quando o tempo de pré-tratamento foi de 10, 20 e 30min, respectivamente.

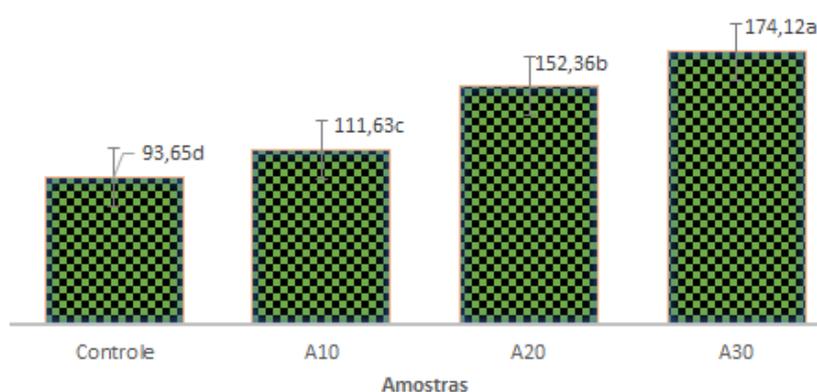
Segundo Solaberrieta et al. (2022), as ondas de ultrassom permitem uma extração eficiente compostos bioativos por meio de seus efeitos cavitacionais, que aceleram a transferência de calor e massa, acelerando a liberação desses compostos ao romper as paredes celulares das plantas. Valores próximos ao presente estudo foram relatados por Dulf et al. (2021), que obtiveram 201,5 mg GAE/100g para farinha da casca de maçã.



Nota: Controle: cascas secas sem aplicação do pré-tratamento; A10: Cascas pré-tratadas durante 10 min; A20: Cascas pré-tratadas durante 20 min; A30: Cascas pré-tratadas durante 30 min; Barras com letras iguais não apresentam diferença significativa entre as condições testadas ($p < 0.05$).

Figura 4. Teor de conteúdo fenólico total das cascas de granadilla pré-tratadas com ultrassom e secas a 70°C.

O teor de taninos totais das cascas de granadilla pré-tratadas com ultrassom e secas a 70°C são apresentados na Figura 5. Os taninos, em pequenas quantidades, conferem aos materiais vegetais características sensoriais desejáveis, no entanto, quantidades maiores conferem características adstringentes. Os taninos possuem a capacidade de formar complexos insolúveis em água com proteína, por se ligarem covalentemente, além de interagirem com minerais divalentes, sendo assim, os taninos são considerados antinutricionais (ALVES et al., 2019).

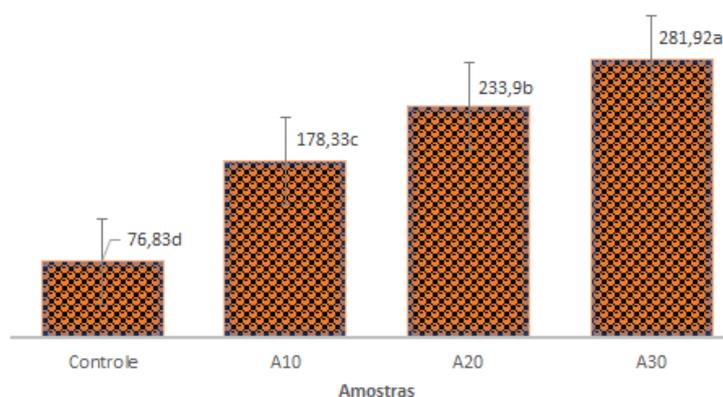


Nota: Controle: cascas secas sem aplicação do pré-tratamento; A10: Cascas pré-tratadas durante 10 min; A20: Cascas pré-tratadas durante 20 min; A30: Cascas pré-tratadas durante 30 min; Barras com letras iguais não apresentam diferença significativa entre as condições testadas ($p < 0.05$).

Figura 5. Teor de taninos totais das cascas de granadilla pré-tratadas com ultrassom e secas a 70°C.

Os teores de taninos totais apresentaram valores considerados baixos, com variação de 93,65 a 174,12 mg EAT/100g ($p < 0.05$), aqui associasse o aumento deste teor em decorrência das modificações estruturais provocadas no pré-tratamento com ultrassom.

Em comparativo com dados da literatura, Oliveira et al. (2021) em seus estudos com farinha da casca de banana obtida por secagem convectiva (60°C), quantificaram 112,90 mg EAT/100g de taninos totais. Os flavonoides são compostos polifenólicos de ocorrência natural que representam uma das classes mais prevalentes de compostos em vegetais (JAN et al., 2013), na Figura 6 estão apresentados os teores de flavonoides totais obtidos para os pós de granadilla nas diferentes condições.



Nota: Controle: cascas secas sem aplicação do pré-tratamento; A10: Cascas pré-tratadas durante 10 min; A20: Cascas pré-tratadas durante 20 min; A30: Cascas pré-tratadas durante 30 min; Barras com letras iguais não apresentam diferença significativa entre as condições testadas ($p < 0.05$).

Figura 6. Teor de flavonoides totais das cascas de granadilla pré-tratadas com ultrassom e secas a 70°C .

Mais uma vez, o tempo de sonicação na etapa de processamento influenciou positivamente para aumento do teor de flavonoides totais, que apresentou variação de 76,83 a 281,92 mg/100g ($p < 0.05$), destaque para amostra submetida a 30 min de sonicação, que apresentou o maior teor $\sim 73\%$ em relação ao pó controle. Almeida et al. (2020), quantificaram teores de flavonoides totais de 101,20 mg/100g e de 123,67 mg/100g para farinha da casca de jabuticaba obtida por secagem convectiva (50°C) e liofilização respectivamente.

Os oxidantes naturais desempenham um papel muito útil e eficaz contra o estresse oxidativo. A resposta antioxidante dos compostos bioativos depende de sua estrutura química (ou molecular) e, portanto, pode diferir consideravelmente (SALEEM et al., 2023). Neste estudo avaliamos a atividade antioxidante dos pós de granadilla por meio de duas diferentes rotas DPPH e FRAP, os resultados são expressos na Tabela 1.

Tabela 1. Atividade antioxidante (DPPH e FRAP) das cascas de granadilla submetidas ao pré-tratamento de ultrassom e secas a 70°C

Amostras	DPPH ($\mu\text{M Trolox/g}$)	FRAP ($\mu\text{M FeSO}_4/\text{g}$)
Controle	25,15 \pm 0,37d	43,05 \pm 1,24d
A10	33,37 \pm 0,26c	61,23 \pm 0,52c
A20	41,12 \pm 0,73b	76,31 \pm 1,05b
A30	47,34 \pm 1,52a	81,65 \pm 0,93a

Nota: Controle: cascas secas sem aplicação do pré-tratamento; A10: Cascas pré-tratadas durante 10 min; A20: Cascas pré-tratadas durante 20 min; A30: Cascas pré-tratadas durante 30 min; Letras iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre as condições testadas ($p < 0.05$).

Os valores da atividade antioxidante foram fortemente influenciados pelo tempo do pré-tratamento, independentemente do método de determinação (DPPH, FRAP) ($p < 0.05$). Para o método de DPPH, observou-se uma variação de 25.15 $\mu\text{M Trolox/g}$ (controle) a 47.34 $\mu\text{M Trolox/g}$ (A30). Os resultados do ensaio FRAP espelharam os resultados do ensaio DPPH, com valores mais altos para as amostras A30 (81,65 $\mu\text{M FeSO}_4/\text{g}$) e mais baixos para as amostras controle (43,05 $\mu\text{M FeSO}_4/\text{g}$).

Os valores da atividade antioxidante também apresentaram correlação com os valores de compostos bioativos (Figuras 4, 5 e 6). Esse comportamento também foi relatado por Iqbal et al. (2020) ao determinarem a capacidade antioxidante de farinhas de casca de laranja e toranja, pré-tratadas por 30 min em ultrassom, no qual, a concentração de compostos fenólicos nas farinhas de casca de laranja e toranja foi de 7,12 e 8,26 mg GAE/g, respectivamente, enquanto a atividade antioxidante foi de 71,38 e 83,68 $\mu\text{mol Trolox/g}$, respectivamente. Indicando que correlação entre a concentração de compostos fenólicos e a atividade antioxidante foi positiva e significativa para ambas as farinhas de casca de frutas.

Conclusão

Resíduos de frutas subutilizados, foram utilizados para produzir um novo produto na forma de pó. Os resultados evidenciaram que, o tempo de pré-tratamento afetou positivamente os teores de compostos bioativos, assim como sua atividade antioxidante. Evidenciando, o potencial funcional e antioxidante deste resíduo, destaque para amostra A30 que apresentou 592,66 mg GAE/100g de CFT, 174,12 mg EAT/100g de taninos e 281,92 mg/100g de flavonoides totais, como atividade antioxidante de 47,34 $\mu\text{M Trolox/g}$ e 81,65 $\mu\text{M FeSO}_4/\text{g}$ para os métodos DPPH e FRAP, respectivamente.

Estudos futuros são necessários, para avaliar a influência dessas condições na composição nutricional, morfológica, estrutural e térmica das cascas de granadilla. A

utilização do pó de granadilla como fonte de nutrientes e compostos bioativos é uma estratégia promissora para a produção de alimentos saudáveis e funcionais, além de contribuir para a redução do desperdício de alimentos.

Referências

AHMED, T.; RANA, M. R.; MAISHA, M. R.; SAYEM, A. S. M.; RAHMAN, M.; ARA, R. Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic content & antioxidant activity of hog plum (*Spondias pinnata* L. f. kurz) pulp by response surface methodology. *Heliyon*, v.8, n.10, e11109, 2022.

ALMEIDA, R. L.; SANTOS, C. C.; DOS SANTOS PEREIRA, T.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; CABRAL, M. B.; BARROS, E. R. Determination of bioactive compounds and physical-chemical composition of jabuticaba peel flour formulated by convective drying and lyophilization. *Research, Society and Development*, v.9, n.1, e157911876, 2020.

ALVES, V. M.; SILVA, J. S. Extração de taninos de farinha de semente de graviola por ultrassom. *DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v.6, p.54-59, 2019.

BAS-BELLVER, C.; BARRERA, C.; BETORET, N.; SEGÚI, L. Impact of breaking and drying conditions on the physicochemical, functional and antioxidant properties of powdered ingredients obtained from Brassica vegetable by-products. *Foods*, v.11, n.22, p.13663, 2022.

CHENG, M.; HE, J.; LI, C.; WU, G.; ZHU, K.; CHEN, X.; TAN, L. Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp. *LWT*, v.173, e114395, 2023.

DADHANEYYA, H.; KESAVAN, R. K.; INBARAJ, B. S.; SHARMA, M.; KAMMA, S.; NAYAK, P. K.; SRIDHAR, K. Impact of different drying methods on the phenolic composition, in vitro antioxidant activity, and quality attributes of dragon fruit slices and pulp. *Foods*, v.12, n.7, e1387, 2023.

DULF, F. V.; FAWZY, M. A.; TOMA, C. C. Valuation of apple pomace by ultrasound-assisted ingestion: Effect of solvents and ingestion conditions. *Food Chemistry*, v.342, e128320, 2021.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. Anthocyanins as food colors. New York: Academic Press, p-182-205,1982.

GOLDSTEIN, J. L.; SWAIN, T. Tannin changes in ripe fruits. *Phytochemistry*, v.2, n.4, p.371-382, 1963.

GOYAL, R. K.; HUSSAIN, S.; SILVA, R.; KUMAR, S. R.; KUMAR, A.; YADAV, R. K. Ultrasound-assisted drying of foods: a review. *Food Reviews International*, v.36, n.4, p.335-355, 2020.

HAFEZ, A. M.; KASHIF, M.; EL-SAUUED, A. M.; EL-SEBAIE, A. H. Ultrasound-assisted hot air drying of carrot slices: drying kinetics, color, and microstructural characteristics. *Food Processing and Preservation Magazine*, v.43, n.3, e13722, 2019.

IQBAL, M. A.; HUMAN.; AYUB, M. A.; ASLAM, M. Determination of antioxidant activity, total phenolic content and mineral composition of different fruit peels using ultrasound-assisted ingestion. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.14, n.3, p. 321-133, 2020.

JAN, S.; SILVA, M. R.; RASHID, U.; BOKHARI, J. Evaluation of antioxidant potential, total phenolics and flavonoids of different solvent fractions of *Monothecha buxifolia* fruit. *Osong Public Health and Research Perspectives*, v.4, n.5, p.246-254, 2013.

JIN, S. K.; LIM, S. T.; SILVA, Y. H.; KIM, J. Y. Effect of ultrasonic treatment on the rheological properties and microstructure of sweet potato starch gels. *Food Hydrocolloids*, v.117, e105668, 2021.

MERCADO LIVRE. Sementes Granadilha (o Maracujá Doce - Granadilla) p/ Mudas. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-1204722262-20-sementes-granadilha-o-maracuja-doce-granadilla-p-mudas-_JM. Acesso em: 10 mai. 2023.

OLIVEIRA, F. B.; SANTIAGO, Â. M.; DE LIMA MARSIGLIA, W. I. M.; BARBOSA, A. G. A.; DOS SANTOS SILVA, M. C.; GOUVEIA, A. G. M.; and others Production and characterization of banana peel flour. *Research, Society and Development*, v.10, n.8, e0910817017, 2021.

SALEEM, M.; DURANI, A. I.; ASARI, A.; AHMED, M.; AHMAD, M.; YOUSAF, N.; MUDDASSAR, M. Investigation of the antioxidant and antibacterial effects of citrus peel extracts using different extractive agents: Phytochemical analysis with in silico studies. *Heliyon*, v.9, n.4, e15433, 2023.

SANTOS, T. R.; FEITOSA, P. R.; GUALBERTO, N. C.; NARAIN, N.; SANTANA, L. C. Improvement of the content of bioactive compounds in granadilla seeds (*Passiflora ligularis*) after solid state fermentation. *International Food Science and Technology*, v.27, n.3, p.234-241, 2021.

SINGH, R.; JAKHAR, S.; PANDEY, A. K.; SHARMA, H. K. Ultrasound-assisted drying of fruits and vegetables: a comprehensive review. *Food Processing and Preservation Magazine*, v.42, n.1, e13328, 2018.

SOBTI, B.; KAMAL-ELDIN, A.; RASUL, S.; ALNUAIMI, M. S. K.; ALNUAIMI, K. J. J.; ALHASSANI, A. A.; ALMHEIRI, M. M. A. Encapsulation properties of mentha piperita leaf extracts prepared using an ultrasound-assisted double emulsion method. *Foods*, v.12, n.9, e1838, 2023.

SOLABERRIETA, I.; MELLINAS, C.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Recovery of antioxidants from industrial waste of tomato seeds by microwave and ultrasound assisted extraction. *Foods*, v.11, n.19, e3068, 2022.

SVIECH, F.; UBBINK, J.; PRATA, A. S. Characterization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) protein hydrolysates obtained by enzymatic and acid hydrolysis: A comparative study. *LWT - Food Science and Technology*, v.156, e113013, 2022.

ZHANG, Q.; WAN, F.; ZANG, Z.; JIANG, C.; XU, Y.; HUANG, X. Effect of synergistic far-infrared ultrasonic Potential for processing Brazilian fruits - A review of state diagram-based approaches on characteristics and qualities of wolfberry (*Lycium barbarum* L.). *Ultrasonics Sonochemistry*, v.89, e106134, 2022.



CAPÍTULO II

Aplicação do pré-tratamento de congelamento-descongelamento assistido por microondas na secagem de fatias de kiwi (*Actinidia deliciosa*)

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

Newton Carlos Santos

Victor Herbert de Alcantara Ribeiro

Raniza de Oliveira Carvalho

Thaís Jaciane Araújo Rodrigues

Michael Marcos de Aquino Gomes

Juvêncio Olegário de Oliveira Neto

Matheus Felipe de Aquino Gomes

Introdução

O kiwi (*Actinidia deliciosa*) é uma baga climatérica apreciada entre os consumidores devido ao seu alto valor nutricional (PASSAFIUME et al., 2020). Nas práticas comerciais, os kiwis são frequentemente colhidos verdes e mantidos em armazenamento refrigerado por meses antes de serem exportados para mercados distantes (KIM et al., 2022).

Durante o armazenamento pós-colheita, os kiwis amadurecem e isso resulta em mudanças fisiológicas e bioquímicas, como a conversão de amido em açúcar e o amolecimento da polpa (LI et al., 2022). Como os kiwis amolecem rapidamente e perdem vitaminas mesmo quando refrigerados, eles tendem a ter vida útil muito curta (SHAO et al., 2022).

Dessa forma, para prolongar sua vida útil, o seu teor de água deve ser reduzido para ter um produto de longo prazo sem alteração significativa na qualidade, permitindo a sua disponibilidade fora da estação (DARVISHI et al., 2016).

Nesse sentido, segundo Izili et al. (2022), o método mais comum para esse fim é a secagem. A secagem está entre as operações de processamento usadas para conservar frutas e vegetais e criar produtos de valor agregado (KAUR et al., 2022).

Este método reduz o volume e estabiliza os produtos alimentícios ao diminuir a atividade de água, que controla o crescimento microbiano e reduz as reações de escurecimento deteriorativo e não enzimático (MUYONGA et al., 2022).

No entanto, durações de secagem prolongadas podem levar a uma baixa eficiência energética e alterações físicas, químicas, bioativas e sensoriais indesejáveis aos produtos alimentícios (NAKAGAWA et al., 2021). Portanto, são necessárias novas abordagens de secagem, como aplicação de pré-tratamento, que possam mitigar ou reduzir essas alterações indesejáveis nos produtos alimentícios (SANTOS et al., 2022a).

Na literatura, diferentes técnicas de pré-tratamento de secagem foram avaliadas por vários pesquisadores, como: ultrassom (AYDAR et al., 2022), pulso de campo elétrico (TYLEWICZ et al., 2022), etanol (SANTOS et al., 2022b), alta pressão hidrostática (SANTOS et al., 2022a), congelamento-descongelamento (ZHANG et al., 2022) entre outros. Segundo Xu et al. (2021), o princípio do pré-tratamento congelamento-descongelamento é baseado na cristalização do gelo que é formado pela penetração de água livre na parede celular durante o processo de expansão da água congelada. Isso permite que a água livre transborde a célula para promover a transferência de massa. Essa tecnologia de pré-tratamento tem boas perspectivas de pesquisa e aplicação, é fácil de operar e o custo do equipamento é baixo (ZHANG et al., 2022).

O descongelamento por micro-ondas tem sido empregado comercialmente e domesticamente devido à alta eficiência, taxa de descongelamento rápida, facilidade de uso e colapso estrutural mínimo (BASSEY et al., 2022). O princípio do descongelamento por micro-ondas baseia-se no fato de que moléculas polares (por exemplo, moléculas de água) nos alimentos giram como resultado da rotação do dipolo de micro-ondas; tal rotação resulta em fricção, que é eventualmente dissipada em calor (CHEN et al., 2022).

Até onde sabe-se, os efeitos do pré-tratamento de congelamento e descongelamento por micro-ondas na secagem de fatias de kiwi ainda não foram estudados. Além disso, pouco se sabe sobre a influência dessa estratégia na bioacessibilidade de compostos fenólicos dos produtos secos. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito do pré-tratamento de congelamento e descongelamento assistido por micro-ondas em diferentes potências (200, 350, 500 e 650W) na transferência de massa, difração de raio-X e na bioacessibilidade de compostos fenólicos de fatias de kiwi.

Material e Métodos

Preparação das amostras

Kiwis (*Actinidia deliciosa*) (Figura 1) foram adquiridos em um mercado local. Os frutos foram selecionados para obter amostras de forma, tamanho e grau de maturação uniformes (polpa firme). Os frutos foram lavados minuciosamente (com 0,2% água clorada). Manualmente com auxílio de faca e paquímetro digital (model 307-06-5, Asimeto®) os frutos foram cortados em fatias com 4mm de espessura, em seguida sua casca foi removida e descartada.

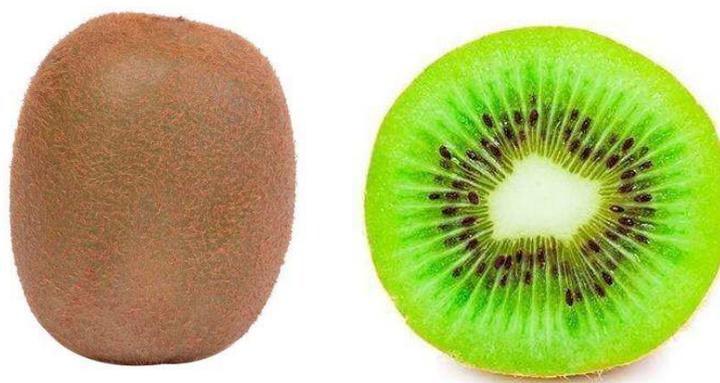


Figura 1. Kiwi (*Actinidia deliciosa*).

Aplicação do pré-tratamento

As fatias de kiwi foram congeladas em freezer convencional a -20 °C por 12h (model CHA31FB, Consul®). Um lote de amostras foi descongelado em temperatura ambiente de 25°C

(KFT). As outras amostras congeladas passaram pelo processo de descongelamento assistido por micro-ondas doméstico com potência total de 1000W (model BMJ38, Brastemp®), no qual, foi empregado diferentes níveis de potência 200W (K200W), 350W (K350W), 500W (K500W) e 650W (K650W) para descongelar as amostras congeladas. Estas potências foram determinadas após os resultados dos estudos cinéticos realizados anteriormente por Bassey et al. (2022) e Chen et al. (2022). Na Figura 2, pode-se observar a ilustração das etapas descritas no trabalho.

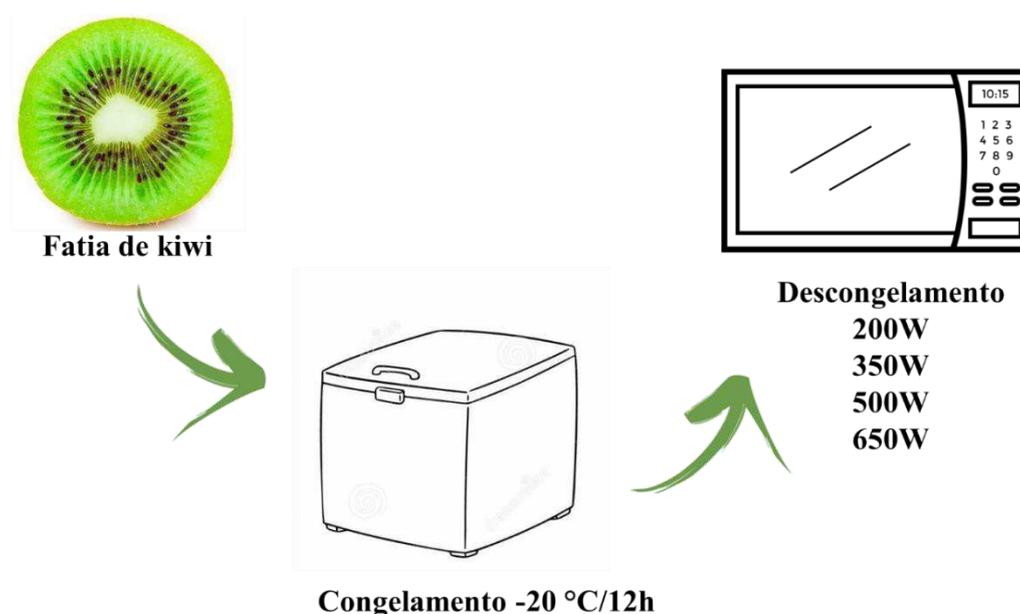


Figura 2. Etapas para aplicação do pré-tratamento de secagem nas fatias de kiwi.

Experimento de secagem

Para os experimentos de secagem, foi utilizado um secador de leito fixo (Figura 3) na temperatura de 60°C e velocidade do ar de 1.2 m s⁻¹. O secador foi ligado 30 min antes de iniciar a secagem das amostras para atingir as condições constantes antes da secagem das amostras. O protocolo de secagem foi realizado em triplicata para as fatias de kiwi sem pré-tratamentos (controle) e para fatias submetidas ao pré-tratamento de congelamento-descongelamento (KFT, K200W, K350W, K500W and K650W). O processo de secagem continuou até que a leitura constante da massa (equilíbrio) fosse registrada para todos os casos.

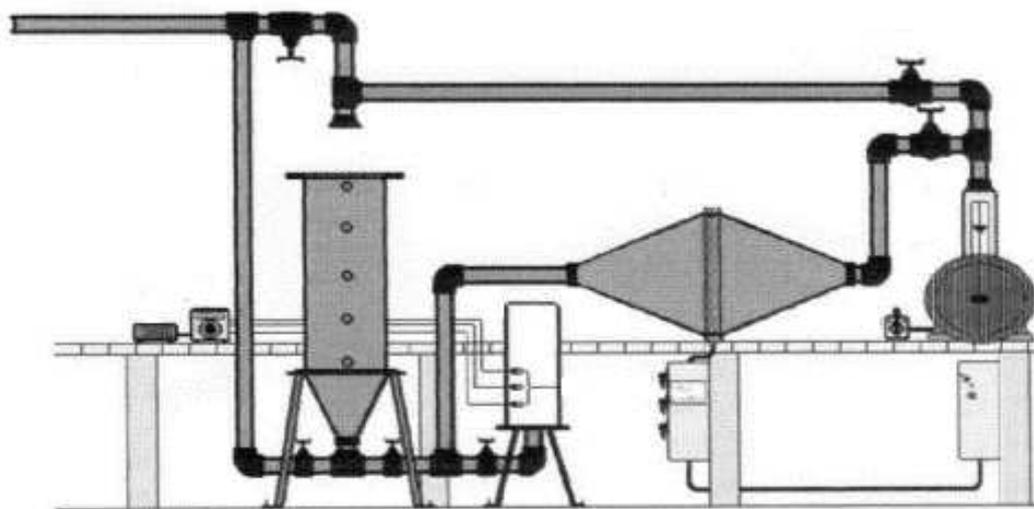


Figura 3. Esquema de secador de leito fixo utilizado na secagem de fatias de kiwi.

Fonte: Aragão (2007).

Razão de umidade e curva de taxa de secagem

Os dados experimentais da perda de água ao longo do processo de secagem foram expressos como razão de umidade (X^*), conforme apresentado na Equação 1, calculada pelo Método nº 1934 (A.O.A.C, 2016).

$$X^*(t) = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} \quad (\text{Eq.1})$$

Onde, X^* é a razão de umidade (adimensional), X_{eq} é o teor de umidade de equilíbrio (base seca), $X(t)$ é o teor de umidade real da amostra no momento t (base seca), e X_i é o teor de umidade inicial (base seca).

Vários autores têm utilizado equações empíricas para modelagem do processo de secagem. Dentre os modelos até então sugeridos, os mais utilizados foram os que apresentaram maior simplicidade e conveniência matemática (BENSEDDIK et al., 2019).

Dessa forma, o modelo empírico de Page (Equação 2) foi utilizado para representar o processo de secagem de secagem das fatias de kiwi nas suas diferentes condições (PAGE, 1949). Esse modelo simples, permite a determinação de uma expressão analítica para a taxa de secagem (Equação 3) (SANTOS et al., 2022c).

$$X^* = \exp(-a \times t^b) \quad (\text{Eq.2})$$

$$\frac{dX^*}{dt} = -ab \exp[b-1] \exp[-at^b] \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: X^* é a razão de umidade (adimensional), “a” e “b” são parâmetros do modelo e t é o tempo de secagem.

Modelo de difusão

A difusividade de umidade efetiva foi avaliada com base na segunda lei de difusão de Fick e foi calculada utilizando duas condições de contorno diferente: primeiro tipo (Equação 4) e terceiro tipo (Equação 5), considerando as fatias de kiwi como tendo a geometria de uma parede infinita.

Segundo Kaur et al. (2022), essa lei é estabelecida com base nas hipóteses de transferência de massa unidirecional; distribuição uniforme da umidade em todo o produto; e levando em consideração que a difusividade da umidade seja constante.

$$X^*(t) = \sum_{n=0}^{200} \frac{8}{(2n+1)^2 \pi^2} \exp\left[-(2n+1)^2 \pi^2 \frac{D}{L^2} t\right] \quad (\text{Eq.4})$$

Onde: X^* é a razão de umidade (adimensional); L é a espessura da parede infinita, D é a difusividade de massa efetiva e t é o tempo de secagem.

$$X^*(t) = X_{eq} - (X_{eq} - X_i) \sum_{n=1}^{16} \left(\frac{2 \left(\frac{h(L/2)}{D} \right)^2}{\mu_n^2 \left(\left(\frac{h(L/2)}{D} \right)^2 + \left(\frac{h(L/2)}{D} \right) + \mu_n^2 \right)} \right) \exp\left(-\mu_n^2 \frac{D}{(L/2)^2} t\right) \quad (\text{Eq.5})$$

Onde: D corresponde à difusividade e t é o tempo; h é o coeficiente de transferência de massa por convecção; L é a espessura; μ_n são as raízes da Equação (6) sendo chamada de equação característica para a parede infinita.

$$\cot\mu = \frac{\mu}{\frac{h(L/2)}{D}} \quad (\text{Eq.6})$$

Difração de raios X (XRD)

Os padrões XRD das fatias de kiwi desidratadas foram determinados usando um difratômetro de raios X (D2 PHASER, Bruker AXS Inc., Karlsruhe, Alemanha) de acordo com Xue et al. (2022). Operando a 40 kV e 30 mA, em um tamanho de passo de 0,01 °/min em temperatura ambiente. Os ângulos de difração (2θ) variaram entre 5 e 80°.

Compostos fenólicos totais (TPC)

O TPC das fatias de kiwi desidratadas foi conduzido usando o método Folin-Ciocalteu conforme descrito por Al-matani et al. (2015). Para isso, um extrato aquoso foi preparado na proporção 1:10 (kiwi:água) e permaneceu em contato direto em ultrassom (Unique, USC-2850A, Brasil) na frequência de 40 kHz e potência de 132 W durante 10 min/25°C. Um espectrofotômetro UV SP-2000 (Spectrum, Shanghai, China) foi usado para medir a absorvância a 750 nm e os resultados expressos em mg GAE (equivalente de ácido gálico) 100 g⁻¹ (mg GAE/100g).

Digestão gastrointestinal in vitro simulada

As fatias de kiwi desidratadas foram submetidas à digestão gastrointestinal in vitro simulada de acordo com Gawlik-Dziki et al. (2009) e Brodtkorb et al. (2019). As amostras (1 g) foram colocadas em contato com suco oral composto por amilase com carga enzimática de 75 U/mL a pH 7 e incubadas à 37°C por 2 min a 180rpm em banho-maria agitado (model 226M2, QEC®).

Uma solução de pepsina (2.000 U/mL) a pH 3 foi adicionado ao recipiente e deixado reagir por 2 min. Por fim, sucos duodenais foram incorporados contendo sais biliares (4.4 mg/mL) e pancreatina (100 U/mL), com pH 6.5–7 por mais 2 min, totalizando 6 min de reação. Ao final da digestão, a reação enzimática foi imediatamente interrompida pelo resfriamento das amostras em gelo e o TPC foi determinado (conforme descrito anteriormente) após a fase gástrica e intestinal.

Determinação de bioacessibilidade

A bioacessibilidade do TPC foi calculada de acordo com Dapčević-Hadnađev et al. (2022) usando a Equação 7.

$$\text{Bioaccessibilidade} = \frac{A}{B} \times 100\% \quad (\text{Eq.7})$$

Onde: A representa TPC antes da digestão gastrointestinal *in vitro*, enquanto B representa TPC após a fase intestinal.

Avaliação dos modelos e análise estatística

Os parâmetros dos modelos e o coeficiente de determinação (R^2) foram calculados por meio de uma análise de regressão não linear. A adequação do modelo foi determinada pelos valores de R^2 e qui-quadrado (χ^2). Os experimentos foram realizados com três repetições ($n = 3$). A significância estatística ($p < 0,05$) foi estabelecida por One-way ANOVA com teste post hoc HSD de Tukey.

Resultados e Discussão

A razão de umidade indica a remoção relativa de umidade (ZIA et al., 2022), e seus dados foram usados para obter a curva de secagem (Figura 4) das fatias de kiwi sem pré-tratamento (control) e pré-tratadas (KFT, K200W, K350W, K500W and K650W) submetidas ao processo de secagem em leito fixo na temperatura de 60°C.

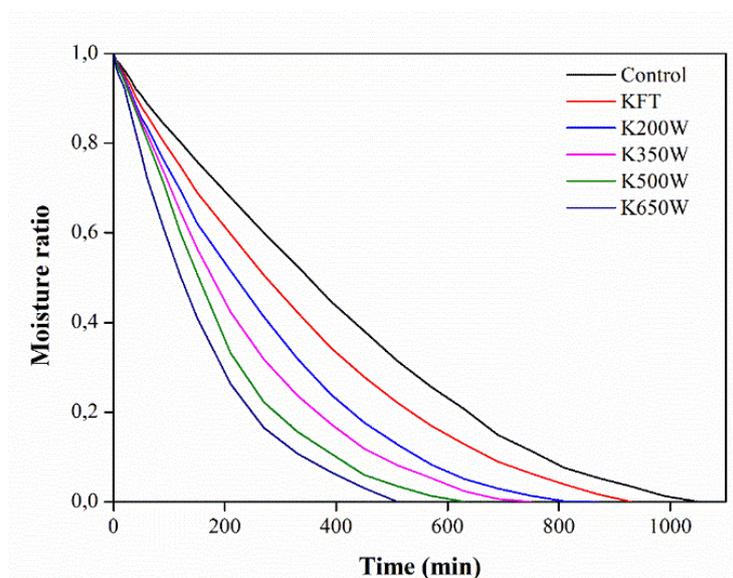


Figura 4. Cinética de secagem de fatias de kiwi em função do tempo de secagem a 60°C, do teor de umidade inicial ao de equilíbrio.

Pode-se observar que para todas as condições o estágio inicial apresenta uma diminuição drástica no teor de umidade, no entanto, o processo de descongelamento assistido

por micro-ondas em potências mais altas, ou seja, 650W e 500W, houve queda acentuada nos valores de razão de umidade durante as primeiras 3 h de processo. Segundo Saengrayap et al. (2015) o aumento da potência das micro-ondas resulta em aquecimento rápido, aumentando assim a vaporização da umidade e aumento da pressão de vapor no interior do produto que provocou a difusão da umidade em direção à superfície mais rapidamente.

O pré-tratamento aplicado tiveram efeitos óbvios no tempo de secagem, conforme apresentado na Figura 5.

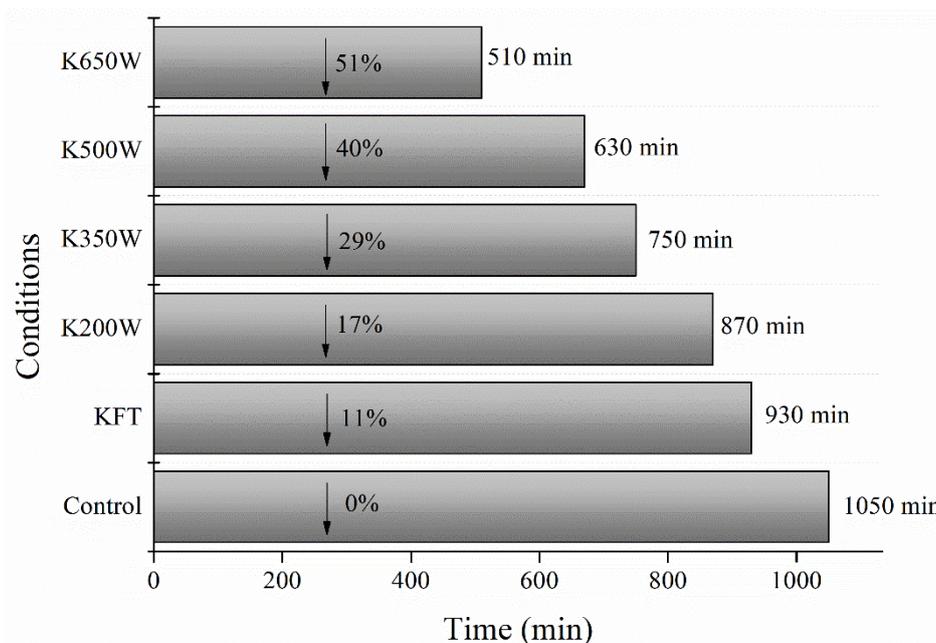


Figura 5. Redução do tempo de secagem (%) de fatias pré-tratadas em comparação com fatias de controle (sem pré-tratamento).

O efeito da potência de micro-ondas no descongelamento das fatias de kiwi mostrou que o tempo de secagem das fatias de kiwi submetidas à potência de micro-ondas de 650W foi menor (510 min) do que aquelas descongeladas com potência de micro-ondas de 500W, 350W e 200W, que apresentaram tempos de secagem de 630, 750 e 870 min, respectivamente. Comparado com as fatias que não receberam pré-tratamento (control, 1050min), o tempo de secagem de KFT, K200W, K350W, K500W and K650W foi reduzido em 11, 17, 29, 40 e 51%, respectivamente.

Segundo Bassey et al. (2022), esse comportamento pode ser atribuído à formação de cristais de gelo e ao desenvolvimento de microfissuras na parede celular do produto durante a etapa de congelamento-descongelamento, que consequentemente melhorar a taxa de remoção de umidade.

Rojas et al. (2021), obtiveram redução no tempo de secagem de aproximadamente 36% durante secagem convectiva (50°C) de cambuci pré-tratado com ethanol and freezing. Zielinska et al. (2015), relataram que o congelamento/descongelamento reduziu o tempo de secagem (em até 29%) durante secagem de blueberries. Em geral, o pré-tratamento de congelamento e descongelamento assistido por micro-ondas tiveram efeitos significativos na redução do tempo de secagem e afetaram positivamente o processo de transferência de calor e massa durante a secagem.

A razão de umidade calculada também foi usada para verificar a compatibilidade do modelo de Page (Equação 2) que poderá ser utilizado para projetar e modelar equipamentos com ótimas características de secagem. Os coeficientes do modelo e os valores dos parâmetros de ajuste foram apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do modelo empírico de Page aos dados experimentais de cinética de secagem de fatias de kiwi

Condições	a	b	R ²	χ^2
Controle	$0,405 \times 10^{-3}$	1,287	0,995	$1,921 \times 10^{-2}$
KFT	$0,908 \times 10^{-3}$	1,183	0,997	$1,054 \times 10^{-2}$
K200W	$0,128 \times 10^{-2}$	1,181	0,998	$0,230 \times 10^{-2}$
K350W	$0,151 \times 10^{-2}$	1,187	0,999	$0,210 \times 10^{-2}$
K500W	$0,124 \times 10^{-2}$	1,263	0,999	$0,193 \times 10^{-2}$
K650W	$0,267 \times 10^{-2}$	1,162	0,999	$0,127 \times 10^{-2}$

Para todas as condições estudadas, os valores de R² e χ^2 variaram de 0,995 a 0,999 e $0,127 \times 10^{-2}$ a $1,921 \times 10^{-2}$, respectivamente, indicando bom resultado de ajuste. Dessa forma, através dos parâmetros estatísticos obtidos, pode-se afirmar que o modelo prevê com precisão o comportamento de secagem das fatias de kiwi sem (control) e com pré-tratamento (KFT, K200W, K350W, K500W e K600W), portanto, pode ser usado para planejar as operações de secagem e representar a secagem de frutas com alto teor de água.

Em estudos anteriores, o modelo de Page também representou de forma satisfatória o processo de secagem de fatias de banana (GRANELLA et al., 2022), fatias de maçã (ROJAS et al., 2020) e manga em cubos (SEHRAWAT et al., 2018).

A Figura 6 mostra as curvas da taxa de secagem das fatias de kiwi sem (control) e com pré-tratamento (KFT, K200W, K350W, K500W e K600W) calculadas pelo modelo de Page (Equação 3).

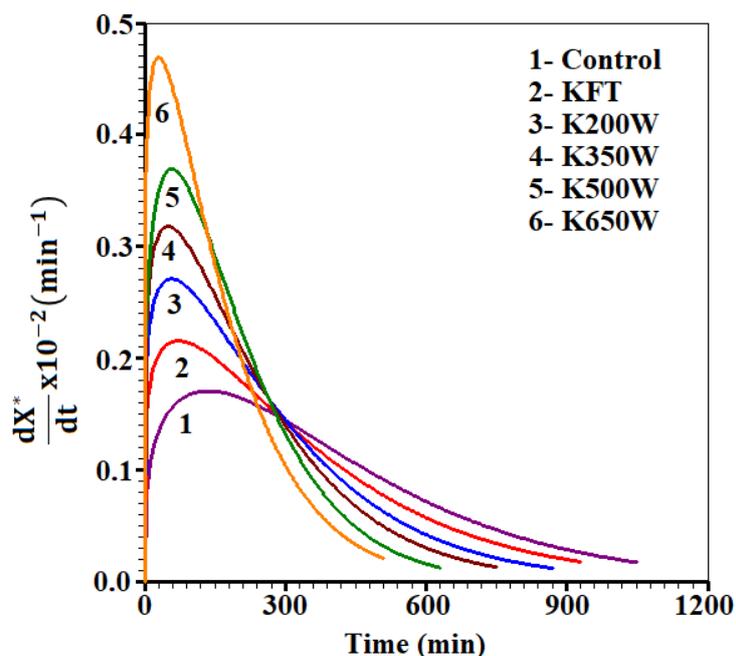


Figura 6. Taxa de secagem das fatias de kiwi.

Zhu and Shen (2014) também relataram em seus estudos com secagem de fatias de pêsego que, o modelo de Page descreve de forma satisfatória a taxa de secagem. As amostras submetidas ao descongelamento assistido por micro-ondas, apresentaram maiores taxas de secagem em potências mais altas, ou seja, 650W. Esse comportamento está associado ao aumento da taxa de evaporação da superfície e a remoção da água envolvida nas moléculas da fruta que foi acelerada pelo aumento da potência do micro-ondas (ASIIMWE et al., 2022).

Para todas as condições estudadas, de acordo com a Figura 6, houve um estágio óbvio de taxa de secagem constante. Posteriormente, observou-se um período de diminuição da taxa de secagem, até que um equilíbrio fosse alcançado.

Segundo Almeida et al. (2022), esse período de diminuição da taxa de secagem é relacionado a água que fica presa dentro da matriz alimentar e que se difunde lentamente para a superfície por ação capilar, ou seja, a taxa de secagem diminuiu porque a taxa de difusão da evaporação da água foi lenta (SANTOS et al., 2022c).

A difusividade efetiva é usada para descrever a taxa de movimento da umidade em uma amostra durante o período de secagem (ADDO et al., 2022). Nesse estudo, investigamos duas condições de contorno (tipo I e tipo III), a fim de determinar qual condição apresenta uma solução mais realista para a descrição da cinética de secagem de fatias de kiwi em leito fixo.

Os resultados da solução analítica utilizando a condição de contorno do primeiro tipo (tipo I) são apresentados na Tabela 2. Para todas as condições estudadas, os valores de R^2 e χ^2 variaram de 0,976 a 0,986 e 0,160 a 0,296, respectivamente, não representando um bom ajuste aos dados experimentais.

Tabela 2. Parâmetros do modelo e indicadores estatísticos para as duas condições de contorno (tipo I e tipo III) para a descrição da secagem de fatias de kiwi em condições diferentes

Tipo I				
Condições	D (m² min⁻¹)	R²	χ^2	
Controle	$2,918 \times 10^{-9}$	0,976	0,269	
KFT	$3,524 \times 10^{-9}$	0,984	0,207	
K200W	$4,389 \times 10^{-9}$	0,986	0,203	
K350W	$5,029 \times 10^{-9}$	0,985	0,199	
K500W	$5,810 \times 10^{-9}$	0,979	0,226	
K650W	$6,936 \times 10^{-9}$	0,983	0,160	
Tipo III				
Condições	D (m² min⁻¹)	h (m min⁻¹)	R²	χ^2
Controle	$5,672 \times 10^{-6}$	$4,962 \times 10^{-6}$	0,991	$5,557 \times 10^{-2}$
KFT	$6,939 \times 10^{-6}$	$6,071 \times 10^{-6}$	0,993	$2,683 \times 10^{-2}$
K200W	$8,678 \times 10^{-6}$	$7,590 \times 10^{-6}$	0,995	$2,221 \times 10^{-2}$
K350W	$1,453 \times 10^{-5}$	$9,085 \times 10^{-6}$	0,996	$1,435 \times 10^{-2}$
K500W	$1,833 \times 10^{-5}$	$1,075 \times 10^{-5}$	0,994	$2,154 \times 10^{-2}$
K650W	$2,090 \times 10^{-5}$	$1,306 \times 10^{-5}$	0,997	$8,343 \times 10^{-3}$

Os valores da difusividade efetiva utilizando a condição de contorno tipo I apresentou valores variando de $2,918 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ a $6,636 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ entre as fatias de kiwi control e as K650W. O processo de descongelamento das fatias de kiwi assistido por micro-ondas, aumentou a difusividade efetiva (~49%) quando se teve aumento da potência em até 650W, em relação as fatias descongeladas a temperatura ambiente (KFT) que apresentou difusividade efetiva de $3,524 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$.

A solução analítica do modelo de difusão com condição de contorno tipo I, utiliza apenas o primeiro termo da série, por esse motivo pode levar a erros de corte significativos, principalmente na descrição dos instantes iniciais de um processo de difusão (SILVA et al., 2014).

Nesse sentido visando minimizar erros de corte, também apresentamos a solução analítica utilizando a condição de contorno do terceiro tipo (tipo III), no qual, o número de

termos da série que representa a solução analítica da equação de difusão foi estabelecido como 16. Os seus resultados também estão apresentados na Tabela 2. Para todas as condições estudadas, os valores de R^2 e χ^2 variaram de 0,991 a 0,997 e $0,834 \times 10^{-2}$ a $5,557 \times 10^{-2}$, respectivamente, representando um bom ajuste aos dados experimentais.

A Figura 7, apresenta as curvas obtidas pela simulação utilizando a condição de contorno tipo III, no qual, pode-se observar sua proximidade aos pontos experimentais concordando com o que foi observado ao analisar os indicadores estatísticos, que foram significativamente melhores, por exemplo, o valor da função qui-quadrado foi reduzido em $\sim 33\times$ em relação a solução considerando a condição tipo I. Dessa forma, podemos dizer que essa condição descreve de forma mais realista o processo de secagem de fatias de kiwi nas diferentes condições de pré-tratamento estudadas.

Para o modelo com condição tipo III os valores da difusividade efetiva apresentaram variação de $5,672 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ a $2,090 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ entre as fatias de kiwi control (sem pré-tratamento) e as fatias pré-tratadas. Observa-se que os valores de difusividade foram influenciados pelo aumento da potência do micro-ondas na etapa de descongelamento das fatias, ou seja, 650W potencializou o movimento das moléculas de água (RAAAF et al., 2022).

Esse fato é associado ao rápido aumento na temperatura da amostra e gradiente de vapor amplificado entre a superfície e o centro da amostra em alta potência (BASSEY et al., 2022). As difusibilidades descritas na literatura são difíceis de comparar devido aos diferentes métodos de secagem, modelos de estimativa utilizados, composição dos alimentos e sua estrutura física (SOLOMON et al., 2021).

No entanto, valores de difusividade efetiva da mesma ordem de grandeza foram relatados por Santos et al. (2022a) para secagem de fatias de caju pré-tratadas com alta pressão hidrostática.

Como essa condição de contorno considera a igualdade dos fluxos difusivo e convectivo na superfície sólida (SANTOS et al., 2022c) a otimização forneceu outro parâmetro, o coeficiente convectivo (h). Para os valores obtidos, observou-se o mesmo comportamento dos valores de difusividade efetiva, ou seja, aumentaram quando se teve aumento da potência de micro-ondas e os seus valores variaram de $4,962 \times 10^{-6} \text{ m min}^{-1}$ a $1,306 \times 10^{-5} \text{ m min}^{-1}$ entre as amostras controle e K650W. Segundo Vilar et al. (2021), esse comportamento observado relacionado a resistência à transferência externa de massa.

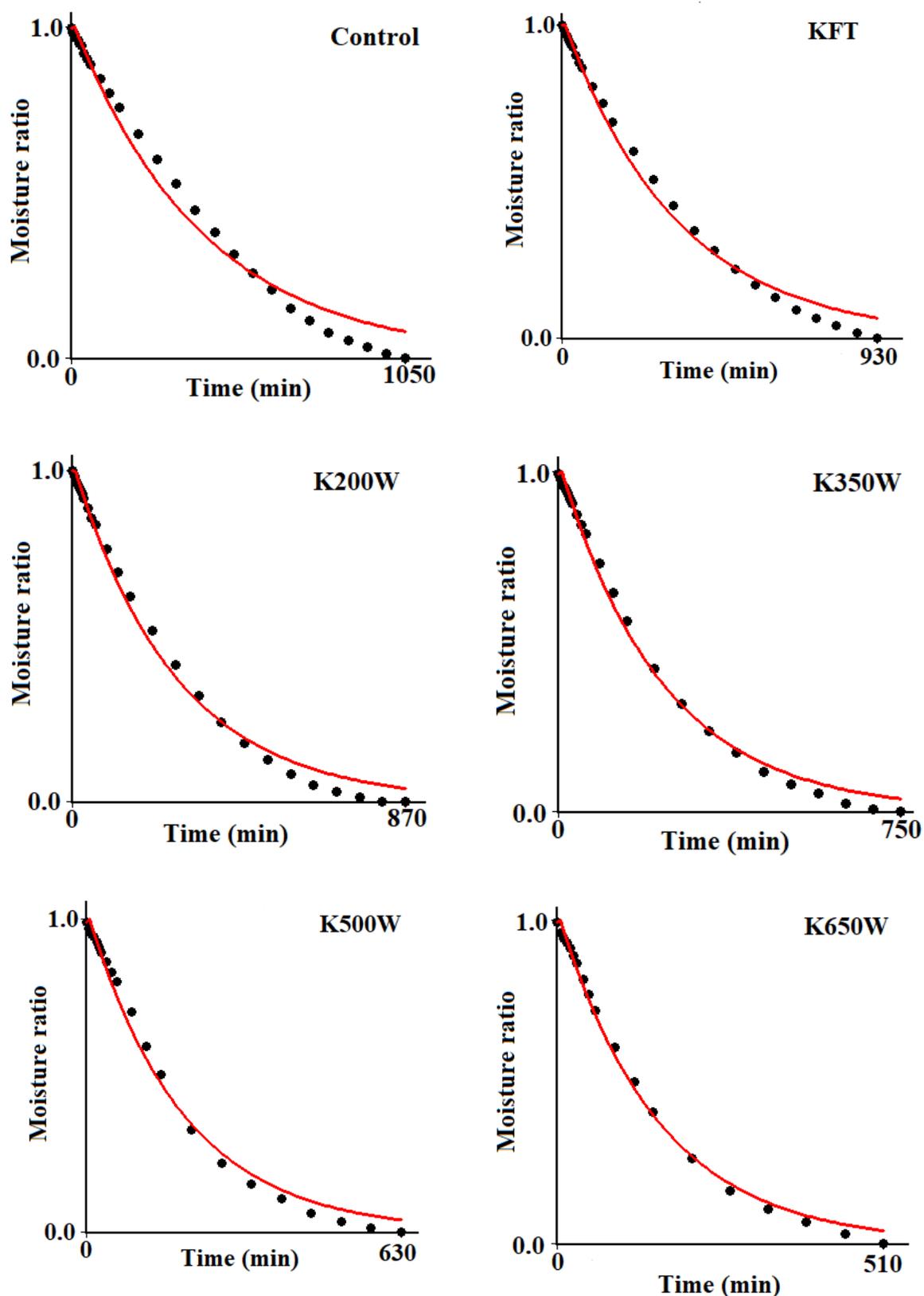


Figura 7. Ajuste do modelo de difusão com condição de contorno do terceiro tipo (Tipo III) aos dados experimentais da cinética de secagem de fatias de kiwi em diferentes condições.

Potências de descongelamentos mais altas (ou seja, 650W), podem acelerar a evaporação das moléculas de água presentes nas amostras, proporcionando assim uma rápida

diminuição do teor de unidade do material e de forma direta aumentando o valor que corresponde a difusividade efetiva e coeficiente convectiva (EL-MESERY, 2022).

Portanto, é possível observar que para as fatias de kiwi, o aumento nos valores da difusividade efetiva e do coeficiente convectivo, quando se teve aumento da potência do micro-ondas na etapa de descongelamento, corresponde a um aumento na taxa de secagem (Figura 6) e redução no tempo total de secagem.

O método de difração de raios X (XRD) fornece as informações estruturais e é usado para determinar as características amorfa-cristalinas do material (SIWATCH et al., 2022). Os difratogramas de raios-X (Figura 8) das fatias de kiwi sem pré-tratamento (control) e pré-tradas (KFT, K200W, K350W, K500W e K650W) foram semelhantes com picos no valor de 2θ de: $12,17^\circ$, $16,50^\circ$, $19,8^\circ$, $44,02^\circ$, $64,26^\circ$, $77,40^\circ$.

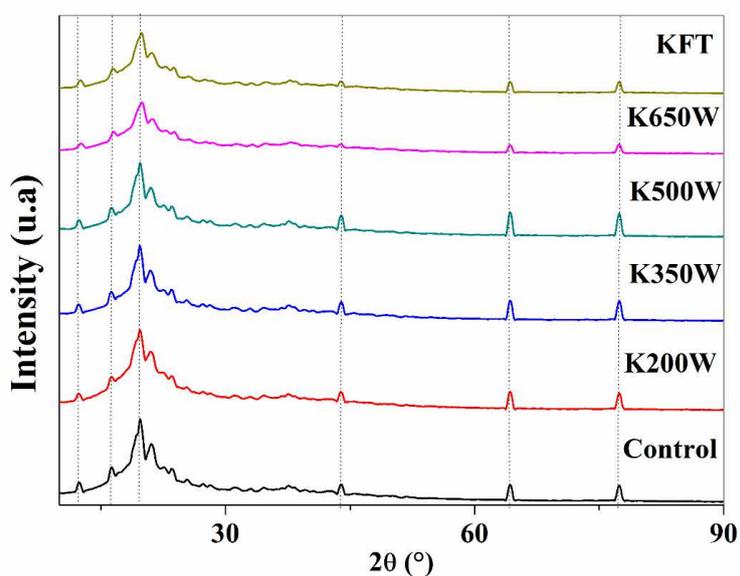


Figura 8. Difratogramas de raios X (DRX) de fatias de kiwi desidratadas.

Através dos difratogramas da Figura 8, observa-se que os mesmos mostraram intensidade reduzida dos picos em todos os valores 2θ à medida que a potência do micro-ondas aumentava no descongelamento das fatias. No entanto, nenhum deslocamento da posição do pico ou novos picos foram observados quando se teve aplicação de dos pré-tratamentos.

De acordo com os resultados atuais, as fatias de kiwi apresentaram natureza amorfa com poucos padrões cristalinos. Segundo Sakar et al. (2020), a diminuição da intensidade dos picos sugere diminuição da cristalinidade do material. O estado amorfo é uma característica

desejável para frutas desidratadas, pois apresenta melhores propriedades de hidratação/solubilização (PANT et al., 2022).

O teor de TPC das fatias de kiwi nas diferentes condições (control, KFT, K200W, K350W, K500W e K650W), após o processo de secagem em leito fixo foi determinado e seus resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Teor de compostos fenólicos totais (TPC) e frações bioacessíveis após digestão gástrica e intestinal simulada de fatias de kiwi

Condições		TPC (mg GAE/100g)	
Controle		449,19 ± 2,55 ^f	
KFT		567,25 ± 5,27 ^e	
K200W		603,09 ± 4,16 ^d	
K350W		675,86 ± 3,25 ^c	
K500W		862,46 ± 7,83 ^b	
K650W		948,72 ± 8,69 ^a	

Condições	TPC (mg GAE/100g)		Bioacessibilidade (%)
	Após a fase gástrica	Após a fase intestinal	
Controle	186,92 ± 2,19 ^A	36,41 ± 1,05 ^B	8,11
KFT	201,44 ± 1,75 ^A	51,16 ± 2,57 ^B	9,02
K200W	359,01 ± 2,96 ^A	93,64 ± 4,05 ^B	15,53
K350W	411,25 ± 3,66 ^A	134,83 ± 2,26 ^B	19,95
K500W	593,69 ± 5,07 ^A	194,12 ± 2,83 ^B	22,51
K650W	624,37 ± 4,16 ^A	265,64 ± 3,21 ^B	28,00

Nota: Letras minúsculas na mesma coluna indicam diferença estatística pelo teste post hoc de Tukey HSD ($p < 0,05$) entre as diferentes condições de pré-tratamento; Letras maiúsculas na mesma linha indicam diferença estatística pelo teste post hoc de Tukey HSD ($p < 0,05$) entre as fases pós-gástrica e intestinal.

Os valores apresentaram variação de 444,19 mg GAE/100g (control) a 948,72 mg GAE/100g (K650W), sendo observado esse maior teor para as amostras submetidas ao descongelamento na maior potência de micro-ondas (650W). Os resultados evidenciaram que os efeitos sinérgicos do congelamento e descongelamento assistido por micro-ondas nas diferentes potências influenciou significativamente no TPC das fatias kiwi ($p < 0,05$). De fato, em nosso relatório anterior, o pré-tratamento de congelamento em fatias de mamão levou a níveis de TPC melhores após a secagem convectiva (SANTOS et al., 2022c).

Segundo Cheng et al. (2022), os compostos fenólicos se acumulam no interior das células vegetais, circundadas por paredes celulares rígidas, desse modo, o processo de descongelamento com micro-ondas aumentam a pressão interna dentro da célula, alteram as

propriedades físicas dos tecidos biológicos e melhoram a porosidade da matriz biológica facilitando uma maior extração destes compostos. As amostras control e KFT apresentaram os menores valores de TPC e atribuímos esse resultado a duração prolongada do descongelamento das fatias em temperatura ambiente (KFT) e ao longo tempo de secagem que aumentaram as reações oxidativas, o que resultou na degradação dos TPC.

Modelos de digestão *in vitro* têm sido amplamente utilizados para estudar a liberação e bioacessibilidade de compostos em alimentos, por meio da simulação de condições gastrointestinais (RIBEIRO et al., 2019). Os valores de TPC após a fase gástrica e intestinal e a sua bioacessibilidade para todas as condições estudadas é mostrada na Tabela 3. Os valores de TPC após a fase gástrica foram significativamente maiores ($p < 0.05$) em relação aos valores obtidos após da fase intestinal.

Esse mesmo comportamento também foi relatado por Peña-Vázquez et al. (2022) em seus estudos com casca de laranja e por Pollini et al. (2022) para bagaço de maçã liofilizado. Segundo Muñoz-Fariña et al. (2022), essa diminuição após a fase intestinal pode ser causada pela biotransformação dos compostos, que ocorre durante a digestão e sua interação com a matriz alimentar, que também podem ocasionar alterações estruturais nos TPC (DURÁN-CASTAÑEDA et al., 2023).

A bioacessibilidade é frequentemente definida como a fração de um composto que é liberado da matriz alimentar e está disponível para assimilação no intestino após o processo digestivo (ARAÚJO et al., 2021).

Para as diferentes condições estudadas a bioacessibilidade variou de 8,11 a 28% entre a fase gástrica e intestinal, os maiores percentuais foram obtidos para as amostras submetidas a maior potência (K650W), a hipótese é que o pré-tratamento enfraqueceu a parede celular das fatias de kiwi, fornecendo acesso às enzimas digestivas e facilitando a liberação de TPC (QUIRÓS-SAUCEDA et al., 2019). Assim, os TPC bioacessíveis das fatias de kiwi podem reforçar as defesas do organismo, atuando como antioxidante, quando absorvidos pelas células (DANTAS et al., 2021).

Conclusão

Por meio dos resultados foi observado a redução no tempo de secagem com a aumento da potência do micro-ondas para as formulações que passaram pelo tratamento de congelamento e descongelamento, destaque para K650W com 51% de redução, totalizando 510 min. Dentre os modelos ajustados aos dados experimentais, o modelo empírico de Page apresentou maior R^2 (>0.99) e menor função qui-quadrado (< 0.01921). Após analisar as

fatias de kiwi desidratada em leito fixo, foi observado pela difração de raio X, que a intensidade dos picos foi reduzida à medida que a potência do micro-ondas aumentava no descongelamento das fatias. Para os TPC a condição K650W apresentou o maior teor (948,72 mg GAE/100g), assim como a maior bioacessibilidade (28%) após a fase gástrica e intestinal.

Referências

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

ADDO, P. W.; TAYLOR, N.; MACPHERSON, S.; RAGHAVAN, V.; ORSAT, V.; LEFSRUD, M. Impact of pre-freezing and microwaves on drying behavior and terpenes in hops (*Humulus lupulus*). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants, v.31, e100436, 2022.

Al-MATANI, S. K.; Al-WAHAIBI, R. N. S.; HOSSAIN, M. A. In vitro evaluation of the total phenolic and flavonoid contents and the antimicrobial and cytotoxicity activities of crude fruit extracts with different polarities from *Ficus sycomorus*. Pacific Science Review A: Natural Science and Engineering, v.17, n.3, p.103-108, 2015.

ARAGÃO, R. F. Secagem de fatias de caju (*Anacardium occidentale* L.) em secador de bandejas. 126f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2007.

ARAUJO, F. F.; de PAULO FARIAS, D.; NERI-NUMA, I. A.; DIAS-AUDIBERT, F. L.; DELAFIORI, J.; DE SOUZA, F. G.; PASTORE, G. M. Gastrointestinal bioaccessibility and bioactivity of phenolic compounds from araçá-boi fruit. LWT, v.135, e110230, 2021.

ASIIMWE, A.; KIGOZI, J. B.; BAIDHE, E.; MUYONGA, J. H. Optimization of refractance window drying conditions for passion fruit puree. LWT, v.154, e112742, 2022.

AYDAR, A. Y.; AYDIN, T.; YILMAZ, T.; KOTHAKOTA, A.; TEREZIA, S. C.; LEONTIN, C. F.; PANDISELVAM, R. Investigation on the influence of ultrasonic pretreatment on color, quality and antioxidant attributes of microwave dried *Inula viscosa* (L.). Ultrasonics Sonochemistry, v.90, e106184, 2022.

BASSEY, E. J.; CHENG, J. H.; SUN, D. W. Thermoultrasound and microwave-assisted freeze-thaw pretreatments for improving infrared drying and quality characteristics of red dragon fruit slices. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.91, e106225, 2022.

BENSEDDIK, A., AZZI, A., ZIDOUNE, M. N., KHANNICHE, R., BESOMBES, C. Empirical and diffusion models of rehydration process of differently dried pumpkin slices. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v.18, n.4, p.401-410, 2019.

BRODKORB, A.; EGGER, L.; ALMINGER, M.; ALVITO, P.; ASSUNÇÃO, R.; BALLANCE, S.; RECIO, I. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. *Nature Protocols*, v.14, n.4, p.991-1014, 2019.

CHEN, B.; ZHANG, M.; WANG, Y.; DEVAHASTIN, S.; YU, D. Comparative study of conventional and novel combined modes of microwave-and infrared-assisted thawing on quality of frozen green pepper, carrot and cantaloupe. *LWT*, v.154, e112842, 2022.

CHENG, M.; HE, J.; WANG, H.; LI, C.; WU, G.; ZHU, K.; CHEN, X.; ZHANG, Y.; TAN, L. Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp. *LWT*, v.154, e114395, 2022.

DANTAS, A. M.; BATISTA, J. D. F.; DOS SANTOS LIMA, M.; FERNANDES, F. A.; RODRIGUES, S.; MAGNANI, M.; BORGES, G. D. S. C. Effect of cold plasma on açai pulp: Enzymatic activity, color and bioaccessibility of phenolic compounds. *LWT*, v.149, e111883, 2021.

DAPČEVIĆ-HADNAĐEV, T.; STUPAR, A.; STEVANOVIĆ, D.; ŠKROBOT, D.; MARAVIĆ, N.; TOMIĆ, J.; HADNAĐEV, M. ANCIENT wheat varieties and sourdough fermentation as a tool to increase bioaccessibility of phenolics and antioxidant capacity of bread. *Foods*, v.11, n.24, e3985, 2022.

DARVISHI, H.; ZAREIN, M.; FARHUDI, Z. Energetic and exergetic performance analysis and modeling of drying kinetics of kiwi slices. *Journal of Food Science and Technology*, v.53, n.5, p.2317-2333, 2016.

DURÁN-CASTAÑEDA, A. C.; CARDENAS-CASTRO, A. P.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; PÉREZ-CARVAJAL, A. M.; SÁNCHEZ-BURGOS, J. A.; MATEOS, R.; SÁYAGO-AYERDI, S. G. Bioaccessibility of phenolic compounds in *Psidium guajava* L. varieties and *P. friedrichsthalianum* Nied. after gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, v.400, e134046, 2023.

EL-MESERY, H. S. Improving the thermal efficiency and energy consumption of convective dryer using various energy sources for tomato drying. *Alexandria Engineering Journal*, v.61, n.12, p.10245-10261, 2022.

GAWLIK-DZIKI, U.; DZIKI, D.; BARANIAK, B.; LIN, R. The effect of simulated digestion in vitro on bioactivity of wheat bread with Tartary buckwheat flavones addition. *LWT*, v.42, n.1, p.137-143, 2009.

GRANELLA, S. J.; BECHLIN, T. R.; CHRIST, D. Moisture diffusion by the fractional-time model in convective drying with ultrasound-ethanol pretreatment of banana slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.76, e102933, 2022.

IZLI, N.; IZLI, G.; TASKIN, O. Drying kinetics, colour, total phenolic content and antioxidant capacity properties of kiwi dried by different methods. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.11, n.1, p.64-74, 2017.

KAUR, M.; MODI, V. K.; SHARMA, H. K. Evaluation of ultrasonication and carbonation-ultrasonication assisted convective drying techniques for enhancing the drying rates and quality parameters of ripe and raw banana (*Musa*) peel. *Journal of Food Science and Technology*, v.59, n.11, p.4542-4552, 2022.

KIM, J.; LEE, J. G.; LIM, S.; LEE, E. J. A comparison of physicochemical and ripening characteristics of golden-fleshed 'Haegeum' and green-fleshed 'Hayward' kiwifruit during storage at 0°C and ripening at 25°C. *Postharvest Biology and Technology*, v.196, e112166, 2023.

LI, M.; PULLANAGARI, R.; YULE, I.; EAST, A. Segregation of 'Hayward' kiwifruit for storage potential using Vis-NIR spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, v.189, e111893, 2022.

MUÑOZ-FARIÑA, O.; LÓPEZ-CASANOVA, V.; GARCÍA-FIGUEROA, O.; AH-HEN, K.; BASTIAS-MONTES, J. M.; QUEVEDO-LEÓN, R.; RAVANAL-ESPINOSA, M. C. Determination of bioaccessibility of phenolic compounds in fresh and dehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry Advances*, v.2, e100171, 2022.

MUYONGA, J. H.; NATOCHO, J.; KIGOZI, J.; BAIDHE, E.; NANSEREKO, S. Drying behaviour and optimization of drying conditions of pineapple puree and slices using refractance window drying technology. *Journal of Food Science and Technology*, v.59, p.2794–2803, 2022.

NAKAGAWA, K.; HORIE, A.; NAKABAYASHI, M.; NISHIMURA, K.; YASUNOBU, T. Influence of processing conditions of atmospheric freeze-drying/low-temperature drying on the drying kinetics of sliced fruits and their vitamin C retention. *Journal of Agriculture and Food Research*, v.6, e100231, 2021.

PAGE, G. E. Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. Ann Arbor: Purdue University. 1949.

PANT, K.; THAKUR, M.; CHOPRA, H. K.; NANDA, V. Encapsulated bee propolis powder: Drying process optimization and physicochemical characterization. *LWT*, v.155, e112956, 2022.

PASSAFIUME, R.; GAGLIO, R.; SORTINO, G.; FARINA, V. Effect of three different aloe vera gel-based edible coatings on the quality of fresh-cut “Hayward” kiwifruits. *Foods*, v.9, n.7, e939, 2020.

PATEL, M. R.; PANWAR, N. L. Drying kinetics, quality assessment and socio environmental evaluation of solar dried underutilized arid vegetable *Cucumis callosus*. *Energy Nexus*, v.7, e100128, 2022.

PEÑA-VÁZQUEZ, G. I.; DOMINGUEZ-FERNÁNDEZ, M. T.; CAMACHO-ZAMORA, B. D.; HERNANDEZ-SALAZAR, M.; URÍAS-ORONA, V.; DE PEÑA, M. P.; DE LA GARZA, A. L. In vitro simulated gastrointestinal digestion impacts bioaccessibility and bioactivity of sweet orange (*Citrus sinensis*) phenolic compounds. *Journal of Functional Foods*, v.88, e104891, 2022.

POLLINI, L.; JUAN-GARCÍA, A.; BLASI, F.; MAÑES, J.; COSSIGNANI, L.; JUAN, C. Assessing bioaccessibility and bioavailability in vitro of phenolic compounds from freeze-dried apple pomace by LC-Q-TOF-MS. *Food Bioscience*, v 48, e101799, 2022.

QUIRÓS-SAUCEDA, A. E.; SAÑUDO-BARAJAS, J. A.; VÉLEZ-DE LA ROCHA, R.; DOMÍNGUEZ-AVILA, J. A.; AYALA-ZAVALA, J. F.; VILLEGAS-OCHOA, M. A.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. Effects of ripening on the in vitro antioxidant capacity and bioaccessibility of mango cv. Ataulfo'phenolics. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.4, p.2073-2082, 2019.

RAAF, A.; PUTRA, T. W.; MULANA, F.; SYAMSUDDIN, Y.; SUPARDAN, M. D. Investigation of kinetics of amla (*Emblca officinalis*) fruit drying process. *South African Journal of Chemical Engineering*, v.41, p.10-16, 2022.

RIBEIRO, L. D. O.; PINHEIRO, A. C. B.; BRÍGIDA, A. I. S.; GENISHEVA, Z. A.; VICENTE, A. A. M. D. O. S.; TEIXEIRA, J. A. C.; FREITAS, S. P. In vitro gastrointestinal evaluation of a juçara-based smoothie: Effect of processing on phenolic compounds bioaccessibility. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.11, p.5017-5026, 2019.

ROJAS, M. L.; AUGUSTO, P. E. D.; CÁRCEL, J. A. Ethanol pre-treatment to ultrasound-assisted convective drying of apple. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.61, e102328, 2020.

ROJAS, M. L.; GOMES, B. D. O.; CARVALHO, G. R.; SANTOS, K. C.; GUEDES, J. S.; BITENCOURT, B. S.; AUGUSTO, P. E. D. Convective drying of cambuci, a native fruit from the Brazilian Atlantic Forest: Effect of pretreatments with ethanol and freezing. *Journal of Food Process Engineering*, v.44, n.10, e13822, 2021.

SAENGRAYAP, R.; TANSAKUL, A.; MITTAL, G. S. Effect of far-infrared radiation assisted microwave-vacuum drying on drying characteristics and quality of red chilli. *Journal of Food Science and Technology*, v.52, n.5, p.2610-2621, 2015.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; DA SILVA, G. M.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; DE ALCÂNTARA RIBEIRO, V. H.; DE OLIVEIRA BRITO, A. C.; SARAIVA, M. M. T. Impact of pretreatments with ethanol and freezing on drying slice papaya: drying performance and

kinetic of ultrasound-assisted extraction of phenolics compounds. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v.103, n.1, p.125-134, 2023.

S

ANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; DA SILVA, G. M.; FEITOZA, J. V. F.; SILVA, V. M. D. A.; SARAIVA, M. M. T.; CARVALHO, A. J. D. B. A. Impact of high hydrostatic pressure (HHP) pre-treatment drying cashew (*Anacardium occidentale* L.): drying behavior and kinetic of ultrasound-assisted extraction of total phenolics compounds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.17, n.1, p.1033-1045, 2023.

SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. L. J.; MONTEIRO, S. S.; DE VILELA SILVA, E. T.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; ANDRÉ, A. M. M.; DE BRITO, A. C. O. Influence of ethanol and ultrasound on drying, bioactive compounds, and antioxidant activity of strawberries (*Fragaria×ananassa*). *Journal of the Indian Chemical Society*, v.99, n.7, e100542, 2022.

SARKAR, T.; SALAUDDIN, M.; HAZRA, S. K.; CHAKRABORTY, R. A novel data science application approach for classification of nutritional composition, instrumental colour, texture and sensory analysis of bael fruit (*Aegle marmelos* (L) correa). *International Journal of Intelligent Networks*, v.1, p.59-66, 2020.

SEHRAWAT, R.; NEMA, P. K.; KAUR, B. P. Quality evaluation and drying characteristics of mango cubes dried using low-pressure superheated steam, vacuum and hot air-drying methods. *LWT*, v.92, p.548-555, 2018.

SHAO, P.; LIU, L.; YU, J.; ZHENG, L.; SUN, P. Novel aldehyde sensitive bio-based colorimetric film for kiwi fruit freshness monitoring. *LWT*, v.159, e113177, 2022.

SILVA, W. P.; DA SILVA, C. M. D. P.; DE FARIAS AIRES, J. E.; DA SILVA JUNIOR, A. F. Osmotic dehydration and convective drying of coconut slices: Experimental determination and description using one-dimensional diffusion model. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v.13, n.2, p.162-168, 2014.

SIWATCH, M.; YADAV, R. B.; YADAV, B. S. X-ray diffraction, rheological and FT-IR spectra studies of processed amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*). *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.11, n.4, p.1717-1724, 2017.

SOLOMON, A. B.; FANTA, S. W.; DELELE, M. A.; VANIERSCHOT, M. Modeling and simulation of heat and mass transfer in an Ethiopian fresh injera drying process. *Heliyon*, v.7, n.2, e06201, 2021.

STAFUSSA, A. P.; MACIEL, G. M.; BORTOLINI, D. G.; MAROLDI, W. V.; RIBEIRO, V. R.; FACHI, M. M.; HAMINIUK, C. W. I. Bioactivity and bioaccessibility of phenolic compounds from Brazilian fruit purees. *Future Foods*, v.4, e100066, 2021.

TYLEWICZ, U.; MANNOZZI, C.; CASTAGNINI, J. M.; GENOVESE, J.; ROMANI, S.; ROCCULI, P.; DALLA ROSA, M. Application of PEF-and OD-assisted drying for kiwifruit waste valorisation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v.77, e102952, 2022.

VILAR, S. B. O.; JUNIOR, N. M. A.; COELHO, A. B.; DA SILVA, J. N.; BARROS, S. L.; DA SILVA, W. P. Avaliação do processo de secagem de uva cv. Arra 15[®]. *Research, Society and Development*, v.10, n.5, e32210515050, 2021.

XU, X.; ZHANG, L.; FENG, Y.; ZHOU, C.; YAGOUB, A. E. A.; WAHIA, H.; SUN, Y. Ultrasound freeze-thawing style pretreatment to improve the efficiency of the vacuum freeze-drying of okra (*Abelmoschus esculentus* (L.) Moench) and the quality characteristics of the dried product. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.70, e105300, 2021.

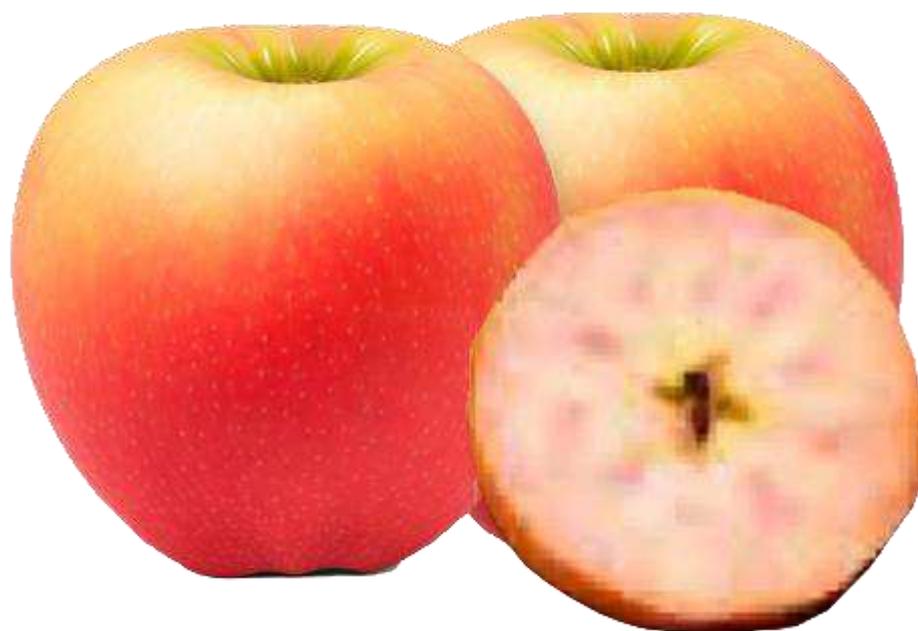
XUE, C.; GUO, X.; ZHU, K. Effect of tartary buckwheat bran substitution on the quality, bioactive compounds content, and in vitro starch digestibility of tartary buckwheat dried noodles. *Foods*, v.11, n.22, e3696, 2022.

ZHANG, L.; YU, X.; ZHOU, C. Effect of freeze-thaw pretreatment combined with variable temperature on infrared and convection drying of lotus root. *LWT*, v.154, e112804, 2022.

ZHU, A.; SHEN, X. The model and mass transfer characteristics of convection drying of peach slices. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v.72, p.345–351, 2014.

ZIA, S.; KHAN, M. R.; AADIL, R. M. Kinetic modeling of different drying techniques and their influence on color, bioactive compounds, antioxidant indices and phenolic profile of watermelon rind. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.17, 1068-1081, 2022.

ZIELINSKA, M.; SADOWSKI, P.; BŁASZCZAK, W. Freezing/thawing and microwave-assisted drying of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *LWT-Food Science and Technology*, v.62, n.1, p.555-563, 2015.



CAPÍTULO III

Desidratação osmótica de cubos de maçã da polpa colorida: influência do agente osmótico e da liofilização na textura e compostos fenólicos

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Raniza de Oliveira Carvalho
Thaís Jaciane Araújo Rodrigues
Michael Marcos de Aquino Gomes
Juvêncio Olegário de Oliveira Neto
Matheus Felipe de Aquino Gomes

Introdução

A maçã é uma fruta originária da Ásia Central, mas é amplamente cultivada em todo o mundo, especialmente em países como China, Estados Unidos e Turquia (WANG et al., 2019). São uma excelente fonte de compostos bioativos, vitaminas, fibras e açúcares, incluindo polifenóis, vitamina C, pectina e frutose, que têm demonstrado benefícios para a saúde humana, como a redução do risco de doenças cardiovasculares, diabetes e alguns tipos de câncer (BHUYAN et al., 2021).

A maçã é uma fruta popular e comum, e muitos estudos têm sido realizados para investigar o processo de desidratação osmótica de maçã, incluindo as condições ideais de operação, as propriedades físico-químicas dos solutos utilizados e as propriedades sensoriais dos produtos (ALOTHMAN et al., 2018).

A desidratação osmótica é um processo de remoção de água de alimentos através da imersão em soluções concentradas de açúcares ou sais. Esta técnica é utilizada para reduzir o teor de água em frutas, a fim de aumentar a vida útil e melhorar as propriedades nutricionais e sensoriais dos produtos desidratados (MANZOOR et al., 2021).

É um processo que envolve o transporte de água do alimento para uma solução hipertônica, que contém açúcares ou sais. A água é transportada através de uma membrana semipermeável, que permite a passagem de água, mas não de solutos (AL-ZAINI et al., 2020).

Assim, a concentração da solução é a variável mais importante para controlar a perda de água do alimento. Quanto maior a concentração da solução, maior será a perda de água do alimento (PEREIRA et al., 2019). Os agentes osmóticos mais populares são os açúcares (por exemplo, sacarose, frutose, glicose) para frutas, no entanto, uma vez que, a OMS relata o efeito negativo de tais substâncias na saúde humana, e a redução de seu consumo é promovida, e novos agentes osmóticos estão sendo procurados (KROEHNKE et al., 2021).

Outra razão para isso é que os produtores de alimentos precisam se adaptar às necessidades do mercado, onde o interesse por alimentos para diabéticos ou produtos com baixo teor de açúcar é cada vez maior (MALDONADO & PACHECO, 2022).

Portanto, nesse estudo o xilitol foi selecionado para obtenção de uma solução osmótica alternativa. Segundo Mussatto et al. (2002), uma das vantagens do xilitol sobre a sacarose é que, em virtude de sua elevada estabilidade química e microbiológica, ele atua, mesmo em baixas concentrações, como conservante de produtos alimentícios, oferecendo resistência ao crescimento de microrganismos e prolongando a vida de prateleira desses produtos.

Após a desidratação osmótica, as amostras necessitam de uma etapa completar visando a redução do seu teor de água (MONTEIRO et al., 2020). Para isso fim, a liofilização

tem sido empregada e é considerada um método superior de secagem, pois utiliza baixas temperaturas combinadas com baixas pressões para remover a água por sublimação, resultando em um produto de maior qualidade.

Seus efeitos nas propriedades físicas e químicas da fruta variam de acordo com a fruta e as propriedades extrínsecas inerentes ao processo, no entanto, a maioria dos ácidos fenólicos e compostos voláteis são preservados (MUÑOZ-FARIÑA et al., 2023).

Juntas, a desidratação osmótica e a liofilização complementar podem ser usadas para produzir alimentos estáveis com uma atividade de água reduzida e uma vida útil mais longa (PATEIRO et al., 2022). Portanto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência do tipo e da concentração do agente osmótico durante a desidratação osmótica de cubos de maçã; e avaliar a influência da liofilização no teor de compostos fenólicos e na textura dos cubos de maçã desidratada.

Material e Métodos

Amostra

Para realização desse trabalho foram utilizadas maçãs Kissabel (*Malus domestica*) da polpa colorida. As maçãs (Figura 1) com casca amarelo alaranjado foram adquiridas na Central de Fornecimento e Abastecimento de Produtos Agrícolas do Estado da Paraíba, Brasil. Inicialmente os frutos foram higienizados e sanitizados com hipoclorito de sódio (100 ppm/10min) seguindo de uma etapa de enxágue. Com auxílio de uma faca doméstica e um paquímetro as maçãs foram cortadas em cubos (dimensões definidas em testes preliminares, 2 x 2 x 2 cm)



Figura 1. Maçã Kissabel (*Malus domestica*) da polpa colorida.

Fonte: Kissabel.

Desidratação osmótica

Para realização da etapa de desidratação osmótica, foram utilizados açúcar cristal e xilitol para prepara das soluções osmóticas. Os cubos de maçã foram pesados e colocados em cestas teladas de arame galvanizado devidamente numeradas, em seguida submersas na solução osmótica (40 e 50 °Brix) utilizando a proporção de 1:8 (fruto:solução) (Figura 2), e em seguida, colocadas na incubadora com agitação mecânica de 100 rpm na temperatura de 50°C por um intervalo de tempo correspondente a 2 horas.

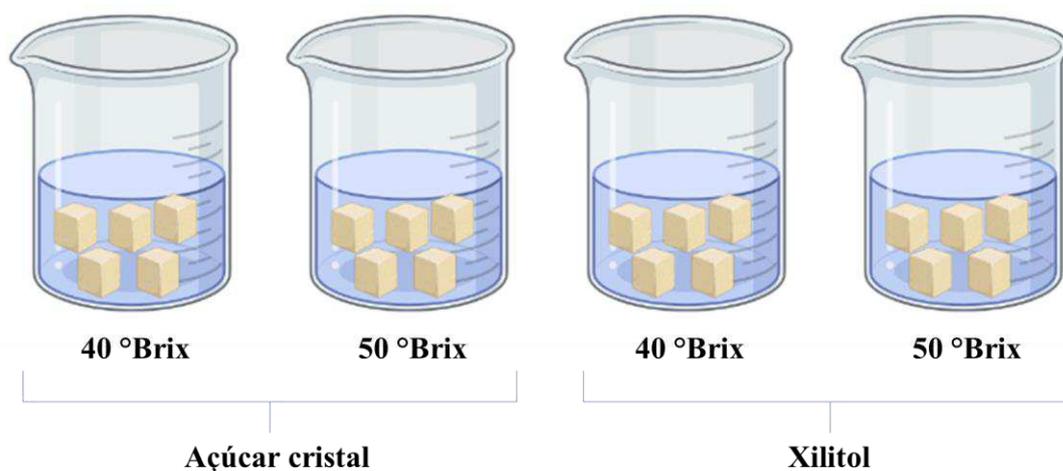


Figura 2. Etapa de desidratação osmótica dos cubos de massa utilizando açúcar cristal e xilitol.

Após o intervalo de tempo pré-determinado, as amostras foram retiradas da solução e lavadas com água destilada para remoção da camada de açúcar aderida a superfície da amostra, em seguida foram levemente enxugadas com papel absorvente e suas massas foram aferidas. Após esta etapa, pôde-se realizar os cálculos de perda de água (PA), perda de massa (PM) e ganho de sólidos (GS).

Cálculo da perda de água (PA)

A perda de água dos cubos após o processo de desidratação osmótica, foi calculado de acordo com a Equação 1.

$$PA = \frac{(Ma_0 - Ma_t)}{M_0} \times 100 \quad (\text{Eq.1})$$

Onde: PA é a perda de água; Ma_0 é o teor de água no produto; Ma_t é o teor de água no produto a um tempo t; M_0 é a massa inicial do produto.

Cálculo da perda de massa (PM)

A perda de massa dos cubos após o processo de desidratação osmótica, foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$PM = \frac{(M_0 - M_t)}{M_0} \times 100 \quad (\text{Eq.2})$$

Onde: PM é a perda de massa; M_0 é a massa inicial do produto; M_t é a massa do produto a um tempo t.

Cálculo do ganho de sólidos (GS)

O ganho de sólidos dos cubos após o processo de desidratação osmótica, foi calculado de acordo com a Equação 3.

$$GS = PA - PM \quad (\text{Eq.3})$$

Onde: GS é o ganho de sólidos; PA é a perda de água calculada na Equação 1 e PM é a perda de massa calculada na Equação 2.

Procedimento de secagem por liofilização

Após realização da etapa de desidratação osmótica, todas as amostras foram submetidas a secagem por liofilização (Figura 3). Para isso, os cubos de maçã foram submetidos ao congelamento lento em freezer por 48 h em temperatura de -18°C . Após o congelamento, as amostras foram transferidas para o liofilizador de bancada (Terroni, LS 3000) e submetida a uma temperatura de -50°C por 48 h.

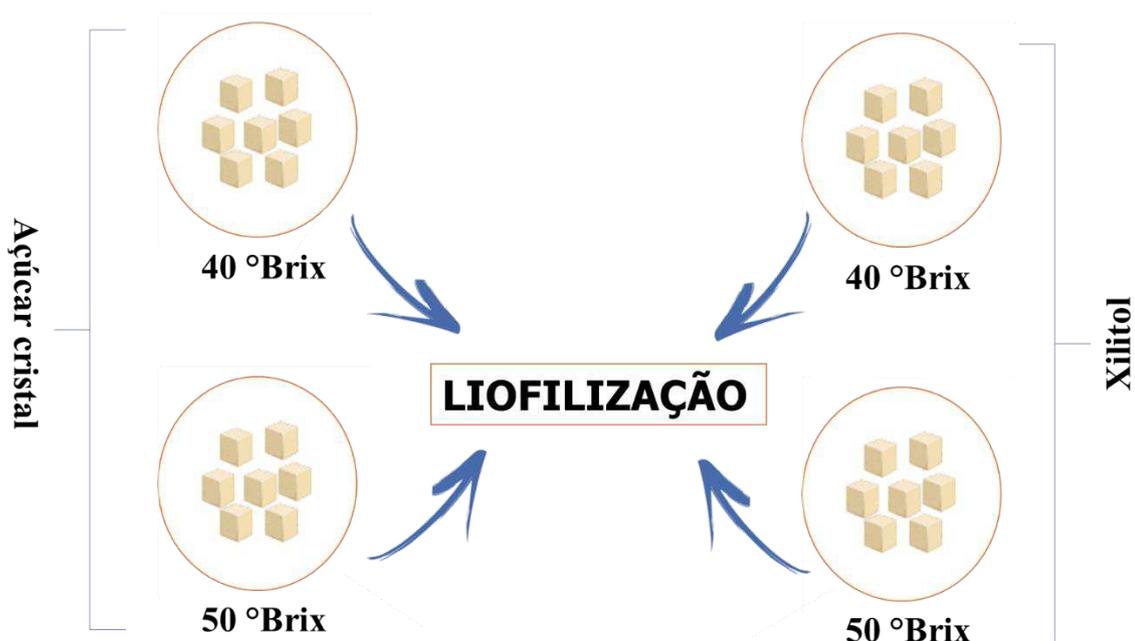


Figura 3. Protocolo de secagem das cascas de granadilla para obtenção do seu pó.

Determinação do conteúdo fenólico total (CFT)

Inicialmente um extrato aquoso foi preparado. Para isso, 1g de amostra foi adicionado a 30 mL de água, em seguida, a mistura foi agitada por 1 h usando agitação magnética no escuro. O sobrenadante foi coletado após centrifugação a $10.000\times g$ por 10 min a 4°C . O ensaio de Folin-Ciocalteu foi utilizado para determinar o CFT do extrato do cubo de maçã (CHENG et al., 2023).

Resumidamente, 0,5 mL de extrato foram misturados com 2 mL de Na_2CO_3 7,5% (p/v) e 2 mL de reagente Folin-Ciocalteu. O valor da absorbância foi medido a 760 nm após 40 min de reação no escuro à temperatura ambiente. O CFT no extrato foi calculado como equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100g).

Determinação da firmeza

A análise de firmeza dos cubos de maçãs foi realizada em texturômetro TA-XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, Reino Unido). Foram realizados testes de compressão a uma velocidade de 2 mm/s e distância de 20mm. Os dados obtidos foram referentes a firmeza expressos em Newton (N).

Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas

qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7.

Resultado e Discussão

Na Tabela 1, estão apresentados os resultados obtidos para a perda de água dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol como agente osmótico.

Tabela 1. Valores médios de perda de água (PA) dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol

Agente osmótico	Concentração	Perda de água (g/100g)
Sacarose	40 °Brix	34,11 ± 0,16bA
	50 °Brix	36,04 ± 0,92aA
Xilitol	40 °Brix	30,25 ± 0,41bB
	50 °Brix	33,55 ± 0,37aB

Nota: Letras minúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre as concentrações para o mesmo agente ($p < 0.05$); Letras maiúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre os agentes osmóticos para mesma concentração ($p < 0.05$).

Para ambos os agentes osmóticos os valores de perda de massa foram maiores para maior concentração da solução ($p < 0,05$). No qual, a solução usando sacarose os valores foram de 34,11 g/100g a 36,04 g/100g para as concentrações de 40 e 50 °Brix. Valores inferiores foram observados quando se utilizou xilitol que foram de 30,25 g/100g a 33,55 g/100g para as concentrações de 40 e 50 °Brix.

Rahman et al. (2022), também relataram em seus estudos com desidratação osmótica de abobrinha que a concentração de agentes osmóticos promove maior perda de água. Segundo Araújo e Pena (2023), quando a desidratação osmótica é aplicada removendo água ou adicionando solutos ou colóides hidrofílicos, a água livre do ambiente é reduzida, o que faz com que a água livre das células do microrganismo (hipotônica) flua do interior para o exterior das células (ambiente hipertônico).

Nesse estudo também avaliamos a perda de massa, após desidratação osmótica. Na Tabela 2, estão apresentados os resultados obtidos para a perda de massa dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol como agente osmótico.

Tabela 2. Valores médios de perda de massa (PM) dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol

Agente osmótico	Concentração	Perda de massa (g/100g)
Sacarose	40 °Brix	28,65 ± 0,25bA
	50 °Brix	30,09 ± 0,19aA
Xilitol	40 °Brix	23,47 ± 0,33bB
	50 °Brix	27,04 ± 0,41aB

Nota: Letras minúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre as concentrações para o mesmo agente ($p < 0.05$); Letras maiúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre os agentes osmóticos para mesma concentração ($p < 0.05$).

Os valores de perda de massa apresentaram comportamento semelhante ao de perda de água, ou seja, maiores perda de massa na maior concentração de soluto (ou seja, 50 °Brix). Esse comportamento também foi relatado por Bakhara et al. (2018) ao realizarem a desidratação osmótica de fatias de jaca em solução nas concentrações de 6, 10, 14 e 30%. Ao comparar os resultados obtidos para a desidratação usando sacarose e xilitol, observou-se que os resultados foram significativamente diferentes ($p < 0,05$). No entanto, as amostras que utilizaram xilitol apresentaram menores perda de massa, com valores de 23,47 g/100g e de 27,04 g/100g para as concentrações de 40 e 50 °Brix, respectivamente.

Após obtenção dos valores de perda de água e perda de massa, foi possível calcular o ganho de sólidos. Na Tabela 3, estão apresentados os resultados obtidos para o ganho de sólidos dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol como agente osmótico.

Tabela 3. Valores médios de ganho de sólidos (GS) dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol

Agente osmótico	Concentração	Ganho de sólidos (g/100g)
Sacarose	40 °Brix	5,46 ± 0,17bB
	50 °Brix	5,95 ± 0,09aB
Xilitol	40 °Brix	6,78 ± 0,21aA
	50 °Brix	6,51 ± 0,13aA

Nota: Letras minúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre as concentrações para o mesmo agente ($p < 0.05$); Letras maiúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre os agentes osmóticos para mesma concentração ($p < 0.05$).

Foram observados baixos valores de ganho de sólidos nos cubos de maçã, na faixa de 5,46 g/100g a 6,78 g/100g. No entanto, é possível relatar que o processo usando xilitol apresentou ganho de sólidos superior ($p < 0,05$) aos obtidos quando se utilizou sacarose,

mesmo anteriormente apresentando as menores perdas de água e de massa. A solução osmótica de xilitol na concentração de 50 °Brix, apresentou ganho de sólido inferior quando comparada a solução de 40 °Brix ($p>0,05$). Associamos esse comportamento à formação de uma camada na superfície que cria uma resistência externa à absorção de sólidos.

Na Tabela 4, estão os resultados obtidos o conteúdo fenólico total dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol como agente osmótico.

Tabela 4. Conteúdo fenólico total (CFT) dos cubos de maçã após desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol e secagem complementar por liofilização

Agente osmótico	Concentração	CFT (mg GAE/100g)
Sacarose	40 °Brix	396,14 ± 2,29bB
	50 °Brix	412,22 ± 1,96aB
Xilitol	40 °Brix	543,61 ± 3,15bA
	50 °Brix	691,02 ± 2,58aA

Nota: Letras minúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre as concentrações para o mesmo agente ($p<0.05$); Letras maiúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre os agentes osmóticos para mesma concentração ($p<0.05$).

É notório na Tabela 4 que os valores de CFT foram significativamente maiores para as amostras submetidas a maior concentração de soluto, independentemente do tipo. No entanto, observa-se que as amostras desidratadas osmoticamente com xilitol, apresentaram maiores concentração 543,61 mg GAE/100g (40 °Brix) e 691,02 mg GAE/100g (50 °Brix), representando um aumento de 21,33% quando houve aumento de 40 para 50 °Brix.

Enquanto, que as amostras desidratadas osmoticamente com sacarose apresentaram um aumento de ~4% para mesma variação, ou seja, de 40 para 50 °Brix. Um estudo recente realizado por Zhang et al. (2021) mostrou que, a desidratação osmótica com liofilização resultou em pêssegos desidratados com maior retenção de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

Na Tabela 5, pode-se observar os valores obtidos para firmeza dos cubos de maçã após o processo de desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol como agente osmótico. Segundo Silva et al. (2019a), a textura é um atributo de qualidade que estabelece a aceitabilidade de um alimento pelo consumidor.

Tabela 5. Firmeza dos cubos de maçã após desidratação osmótica nas concentrações de 40 e 50 °Brix, utilizando sacarose e xilitol e secagem complementar por liofilização

Agente osmótico	Concentração	Firmeza (N)
Sacarose	40 °Brix	180,51 ± 0,52bB
	50 °Brix	200,16 ± 0,36aA
Xilitol	40 °Brix	210,66 ± 0,87aA
	50 °Brix	160,02 ± 0,25bB

Nota: Letras minúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre as concentrações para o mesmo agente ($p < 0.05$); Letras maiúsculas iguais não apresentam diferença significativa entre os agentes osmóticos para mesma concentração ($p < 0.05$).

Diferenças significativas foram observadas em nossos resultados quando se teve aumento da concentração e do tipo de soluto ($p < 0,05$). Observa-se que, os valores não apresentaram comportamento definido com aumento da concentração, principalmente, quando se utilizou xilitol.

Segundo Silva et al. (2019b), esse comportamento pode ser decorrente pela maior incorporação do açúcar no processo osmótico. Os valores para as amostras desidratadas osmoticamente com sacarose foi de 180,51 N (40 °Brix) e de 200,16 N (50 °Brix), enquanto, que para as amostras desidratadas osmoticamente com xilitol foi de 210,66 N (40 °Brix) e de 160,02 N (50 °Brix). Kim et al. (2019), em seus estudos mostraram que, a combinação da desidratação osmótica com a liofilização resultou em maçãs desidratadas com uma textura mais crocante e uma cor mais clara quando comparado a outras técnicas de desidratação.

Conclusão

Esta pesquisa investigou os efeitos do tipo e da concentração do agente osmótico na desidratação osmótica de cubos de maçã kissabel de polpa colorida e nas características fenólicas e de firmeza após liofilização. A solução com sacarose independente da concentração, apresentou maior perda de água e de massa, no entanto, a solução de xilitol com 40 °Brix permitiu maior ganho de sólidos. A aplicação dessas técnicas em conjunto melhorou a qualidade bioativa das amostras, destaque para os cubos previamente desidratado em solução osmótica de xilitol, que apresentaram maior teor de compostos fenólicos. A firmeza dos cubos foi influenciada significativamente pelas variáveis ($p < 0,05$). No geral, este estudo fornece uma estratégia promissora para melhorar a qualidade de cubos de maçã kissabel liofilizados.

Referências

ALOTHMAN, O. Y.; AL-GHOUTI, M. A.; AL-HAJ, L. Osmotic dehydration of fruits: recent advances and future perspectives. *Food Research International*, v.107, p.634-648, 2018.

AL-ZAINI, A. A.; AL-HADDAD, K. A.; AL-AWADHI, F.; AL-KHUSAIBI, M. Osmotic dehydration of fruits: a review. *Journal of Food Science and Technology*, v.40, n.1, p.1-12, 2020.

ARAÚJO, A. L. D.; PENA, R. D. S. Combined pulsed vacuum osmotic dehydration and convective air-drying process of jambolan fruits. *Foods*, v.12, n.9, e1785, 2023.

BAKHARA, C. K.; PAL, U. S.; BAL, L. M. Drying characteristic and physico-chemical evaluation of tender jackfruit slices during osmo-convective drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.12, n.1, p.564-572, 2018.

BHUYAN, D. J.; ALSHERBINY, M. A.; PERERA, C. O.; LI, Y.; ROACH, P. D.; MYERS, S. P. Apples as a source of dietary phytochemicals: An update on the potential health benefits of polyphenols, vitamin C, fiber and sugars. *Foods*, v.10, n.2, e402, 2021.

CHENG, M.; HE, J.; LI, C.; WU, G.; ZHU, K.; CHEN, X.; TAN, L. Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus Lam.*) pulp. *LWT*, v.173, e114395, 2023.

KIM, H.; KIM, M. J.; CHOI, I.; LEE, H. G. Combined effect of osmotic dehydration and lyophilization on the quality characteristics of dried apple chips. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.3, p.1332-1338, 2019.

KISSABEL. Disponível em: <https://kissabel.com/index.html#hero>. Acesso em: 16 maio 2023.

KROEHNKE, J.; SZADZIŃSKA, J.; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; MUSIELAK, G.; MIERZWA, D. Osmotic dehydration and convective drying of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) – The influence of ultrasound on process kinetics and product quality. *Ultrasonics Sonochemistry*, v.71, e105377, 2021.

MALDONADO, M.; PACHECO, J. G. Mathematical modelling of mass transfer phenomena for sucrose and lactitol molecules during osmotic dehydration of cherries. *Heliyon*, v.8, n.1, e08788, 2022.

MANZOOR, A.; KHAN, M. A.; MUJEEBU, M. A.; SHIEKH, R. A. Comparative study of microwave assisted and conventional osmotic dehydration of apple cubes at a constant temperature. *Journal of Agriculture and Food Research*, v.5, e100176, 2021.

MONTEIRO, S. S.; MONTEIRO, S. S.; SANTOS, N. C.; BARROS, S. L.; PEREIRA, E. M. Desidratação osmótica de fatias de mamão, *Carica papaya* L. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.15, n.2, p.183-192, 2020.

MUÑOZ-FARIÑA, O.; LÓPEZ-CASANOVA, V.; GARCÍA-FIGUEROA, O.; ROMAN-BENN, A.; AH-HEN, K.; BASTIAS-MONTES, J. M.; RAVANAL-ESPINOSA, M. C. Bioaccessibility of phenolic compounds in fresh and dehydrated blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.). *Food Chemistry Advances*, v.2, e100171, 2023.

PEREIRA, R. N.; VICENTE, A. A.; MOLDÃO-MARTINS, M. Osmotic dehydration of fruits and vegetables: a review. *LWT*, v.109, e246-257, 2019.

RAHMAN, S. M. A.; SHARMA, P.; SAID, Z. Application of response surface methodology based d-optimal design for modeling and optimisation of osmotic dehydration of zucchini. *Digital Chemical Engineering*, v.4, e100039, 2022.

SILVA, S. N.; SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. P. J.; BAROS, S. L.; SILVA, V. M. A.; GOMES, J. P. Análise do perfil de textura do *Physalis angulata* L desidratado osmoticamente. *Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.7, e6831, 2019b.

SILVA, V. M. A.; MELO, M. O. P.; ARAÚJO, A. J. B.; RIBEIRO, V. H. A.; SANTOS, N. C. Elaboration, microbiological study and texture profile of goat milk flavored with prune (*Prunus domestica* L.). *Revista Craibeiras de Agroecologia*, v.4, n.1, e7663, 2019a.

WANG, Y.; LI, W.; XU, X.; QIU, C.; WU, T.; WEI, Q.; HAN, Z. Progress of apple rootstock breeding and its use. *Horticultural Plant Journal*, v.5, n.5, p.183-191, 2019.



CAPÍTULO IV

Caracterização físico-química, bioativa, antioxidante e microbiológica de kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Raniza de Oliveira Carvalho
Thaís Jaciane Araújo Rodrigues
Michael Marcos de Aquino Gomes
Juvêncio Olegário de Oliveira Neto
Matheus Felipe de Aquino Gomes

Introdução

O incentivo ao consumo de alimentos com alegações de saúde é crescente, uma vez que, o aparecimento de várias doenças crônicas não transmissíveis está frequentemente associado a hábitos alimentares inadequados ao longo da vida. Nesse sentido, a kombucha se destaca pela presença de substâncias bioativas, principalmente com características antioxidantes (SILVA JÚNIOR et al., 2021).

A kombucha é uma bebida fermentada à base de chá (geralmente, chá verde ou preto) que tem origem na Ásia, e tem sido consumida há séculos por suas propriedades nutricionais e terapêuticas (WANG et al., 2022). A kombucha é produzida por uma colônia simbiótica de bactérias e leveduras (SCOBY), que fermenta o chá doce em uma bebida com sabor ácido e gaseificada. As bactérias predominantes incluem *Gluconacetobacter xylinus*, *Komagataeibacter rhaeticus*, *Acetobacter pasteurianus* e *Lactobacillus* spp., enquanto as leveduras predominantes incluem *Saccharomyces cerevisiae*, *Schizosaccharomyces pombe*, *Candida* spp. (LIU et al., 2014).

A presença desses microrganismos é importante para a fermentação adequada da kombucha e para os potenciais benefícios à saúde atribuídos à bebida. Existem diferentes tipos de kombucha, que variam em sabor e características nutricionais, dependendo dos tipos de chá, açúcar e ingredientes adicionados durante o processo de fermentação (KILIC & SENGUN, 2023).

Segundo Silva Júnior et al. (2021), a utilização de diferentes matrizes vegetais na formulação do kombucha também contribuiu para a produção de bebidas diversificadas em termos químicos e sensoriais, uma vez que, as frutas são vistas como substratos importantes para a formulação dessas bebidas, pois possuem sabores e cores variadas, além de serem nutritivas e fontes de compostos fenólicos com potencial antioxidante.

O Kiwano, também conhecido como pepino africano, é uma fruta exótica originária do sul da África, pertencente ao gênero Cucurbitaceae. É caracterizado por sua aparência única, com uma casca espinhosa e polpa verde comestível contendo numerosas sementes (ZHU et al., 2021). O kiwano é uma fonte potencial de compostos bioativos, incluindo ácido ascórbico, carotenoides, compostos fenólicos e flavonoides, com efeitos antioxidantes e anti-inflamatórios comprovados (VIEIRA et al., 2020). Estudos recentes destacam a importância do Kiwano como uma fonte de compostos bioativos com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, além de seu potencial para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios. Em um estudo de Li et al. (2019), foi relatado que o Kiwano pode ser utilizado como ingrediente para o desenvolvimento de novos produtos alimentícios, como bebidas e sorvetes

Nessa perspectiva, o presente estudo tem como objetivo produzir e avaliar as características físico-químicas, bioativas, antioxidante e microbiológicas de kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano.

Material e Métodos

Amostra

Para realização desse trabalho foram utilizadas polpas de kiwano (*Cucumis metuliferus*). Os kiwanos (Figura 1) foram adquiridos na Central de Fornecimento e Abastecimento de Produtos Agrícolas do Estado da Paraíba, Brasil. Inicialmente os frutos foram higienizados e sanitizados com hipoclorito de sódio (100 ppm/10min) seguindo de uma etapa de enxágue. Com auxílio de uma faca doméstica, os frutos foram cortados e sua polpa foi processada em liquidificador industrial, por meio de uma filtração as sementes foram removidas e o suco obtido.



Figura 1. Kiwano (*Cucumis metuliferus*).

Fonte: Frutíferas.com.br.

Preparação do chá

A base de chá preto para a kombucha foi preparado adicionando-se 4g de chá em 200 mL de água destilada (80°C), deixando em infusão por 10 min e adicionando 15% de açúcar mascavo. Após a dissolução do açúcar, o chá foi deixado esfriar até atingir a temperatura ambiente ($\pm 25^{\circ}\text{C}$). Um esquema resumido desta etapa, pode-se ser visualizado na Figura 2.

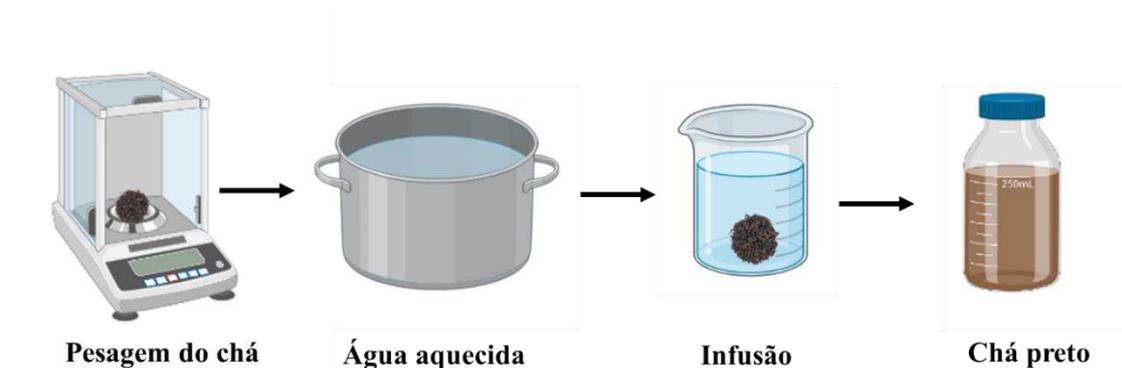


Figura 2. Etapa de preparação do chá preto.

Produção da kombucha

A preparação do meio para produção de kombucha seguiu os métodos de Yuliana et al. (2023). A primeira fermentação foi realizada após o completo resfriamento do chá preparado anteriormente, no qual, ao mesmo foi inoculado com SCOBY (3%) comercial obtido no mercado local. As preparações foram incubadas durante 7 dias em uma BOD na temperatura de 25°C em um pote de vidro sem tampa, envolto por um tecido de algodão.

A segunda fermentação foi realizada fazendo-se a adição de 100mg e 400mg do suco de kiwano preparado anteriormente com 5% de SCOBY e 5% de açúcar mascavo. Novamente, as preparações foram incubadas durante 7 dias em uma BOD na temperatura de 25°C em um pote de vidro sem tampa, envolto por um tecido de algodão. Por fim, após a fermentação, os chás fermentados seguiram para a BOD com temperatura controlada de 5°C durante três dias para o processo de maturação, obtendo assim a bebida Kombucha.

Na Figura 3, pode-se visualizar esquematicamente as etapas de fermentação descritas.

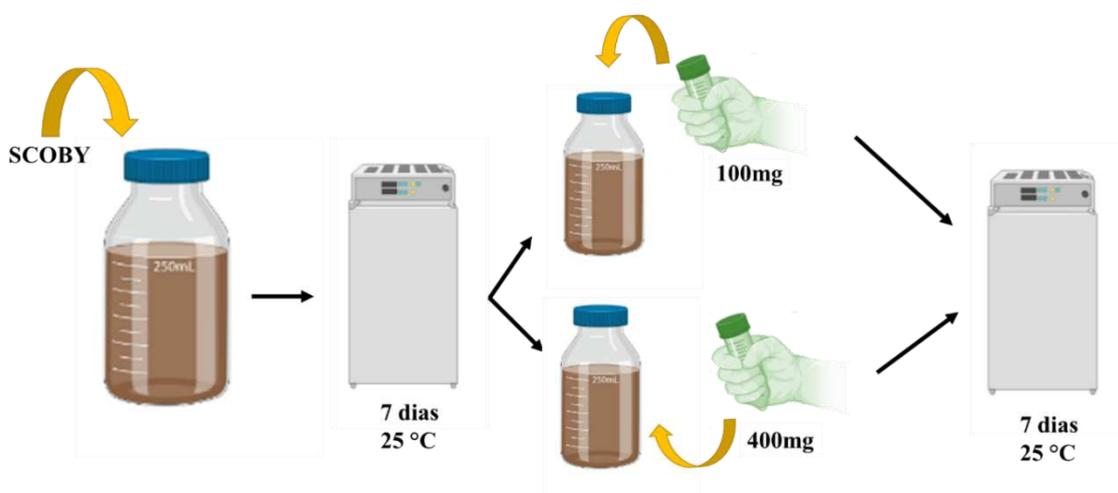


Figura 3. Etapas de fermentação realizadas no preparo da kombucha.

Caracterizações das bebidas fermentadas

A duas bebidas de kombucha elaboradas com 100m de suco de kiwano (K1) e com 400mg de suco de Kiwano (K2) foram caracterizadas em relação aos parâmetros descritos a seguir.

Determinação de açúcares totais

Os açúcares totais foram quantificados pelo método da antrona conforme descrito por Yemm e Willis (1954). A absorbância foi lida 620 nm usando o leitor UV-visível e os resultados foram expressos em porcentagem de glicose (% de glicose)

Determinação de pH e acidez total

A determinação de pH e acidez total titulável das bebidas foi determinada conforme procedimento experimental descrito pela A.O.A.C. (2016). Na determinação do pH foi utilizado um pHmetro. E a acidez total titulável foi determinada por meio da titulação com Não 0,01 M e expressa em % de acidez.

Determinação do conteúdo fenólico total (CFT)

O ensaio de Folin-Ciocalteu foi utilizado para determinar o CFT das bebidas (CHENG et al., 2023). O valor da absorbância foi medido a 760 nm após 40 min de reação no escuro à temperatura ambiente. O CFT no extrato foi calculado como equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100g).

Determinação de antocianinas totais

O método utilizado para leitura das antocianinas totais foi o método do pH único descrito pro Francis (1982). O método consiste em fazer uma transferência quantitativa de uma alíquota do extrato concentrado para um recipiente e então essa alíquota é diluída com uma quantidade de solução Etanol – HCl a 1,5 mol.L⁻¹ tendo assim um volume de extrato diluído. A quantidade de antocianinas totais foi calculada pela Equação 1.

$$Ant_{mg} = \frac{Abs_{535} \times V_{ec} \times V_{ed} \times 1000}{V_{alq} \times m \times 982} \quad (\text{Eq.1})$$

Em que: Ant_{mg} é a quantidade de antocianinas totais expressas em mg de antocianinas por 100 gramas de amostra (mg/100); Abs_{535} é a absorbância lida do extrato diluído a 535 nm;

V_{ec} é o volume do extrato concentrado (mL); V_{ed} é o volume do extrato diluído (mL); V_{alq} é o volume da alíquota tomada do extrato concentrado para fazer o extrato diluído (mL); m é a massa da bebida utilizada para realizar a extração; O valor de 982 é o coeficiente de extinção para antocianinas.

Atividade antioxidante

Os ensaios de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), 2,2-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS) e o poder antioxidante redutor férrico (FRAP) foram realizados para medir as respectivas atividades antioxidantes de acordo com os métodos descritos por Thaipong et al. (2006). Os valores de absorvância dos ensaios DPPH, ABTS e FRAP foram medidos por espectrofotômetro em 515, 734 e 593 nm, respectivamente. Os resultados foram expressos como equivalentes de Trolox em micromol ($\mu\text{mol TE/g}$).

Análise microbiológica

As análises microbiológicas das bebidas incluíram a detecção de *E. coli* de *Salmonella* spp. de acordo com para APHA (2001).

Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7.

Resultado e Discussão

Parâmetros físico-químicos como pH, acidez total titulável e açúcares totais foram avaliados para as duas bebidas elaboradas e seus resultados são apresentados na Tabela 1. De acordo com Patel et al. (2021), o pH é um importante indicador da qualidade do kombucha, uma vez que afeta a atividade metabólica das bactérias e leveduras envolvidas na fermentação.

Observa-se na Tabela 1, que os valores de pH foram baixos, sendo significativamente influenciado pela quantidade de suco utilizado ($p < 0,05$), sendo a formulação K2 com menor valor (2,30). O pH ideal para a produção de kombucha varia de 2,5 a 3,5, sendo que valores

abaixo ou acima desse intervalo podem prejudicar o crescimento microbiano e a qualidade sensorial do produto final (KAPPELLE et al., 2021).

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos avaliados nas kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano

Parâmetros	K1	K2
pH	2.93 ± 0,01a	2.30 ± 0,03b
Acidez total titulável (%)	1.76 ± 0,12b	2.15 ± 0,04a
Açúcares totais (% de glicose)	3.43 ± 0,11b	4.25 ± 0,09a

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa entre as bebidas ($p < 0.05$); K1 é a kombucha elaborada com 100mg de suco de kiwano; K2 é a kombucha elaborada com 400mg de suco de kiwano.

A acidez também é um fator importante na avaliação do kombucha. Os valores obtidos (Tabela 1), foram fortemente correlacionados com os valores de pH, ou seja, quanto menor o valor de pH, maior foi o percentual de acidez da bebida. As bebidas apresentaram acidez de 1,76% (K1) e 2,1% (K2), sendo significativamente diferentes.

De acordo com Zisu et al. (2020), a acidez é um indicador da concentração de ácido acético, um dos principais ácidos presentes na bebida. A acidez adequada também é importante para garantir a segurança alimentar e para conferir sabor e aroma ao produto final.

Os açúcares são um dos componentes da bebida e sua concentração pode variar de acordo com o tipo de chá utilizado e as condições de fermentação, assim a avaliação dos açúcares em Kombuchas também é importante, uma vez que, estes são o substrato para a fermentação e podem afetar a atividade fermentativa (ZISU et al., 2020).

Observa-se na Tabela 1 diferenças estatísticas significativas para o teor de açúcar total das bebidas ($p < 0,05$), no qual, apresentaram valores de 3,43% de glicose (K1) e 4,25% de glicose (K2). Santos et al. (2018), ao produzirem kombuchas a base de chá preto e chá de hibisco, observaram após 7 dias de fermentação, pH na faixa de 2,20 -2,71, acidez na faixa de 2,16 – 1,89% e açúcares totais na faixa de 3,78 – 3,21 mg/100g.

De acordo com Huang et al. (2021), o conteúdo e a composição de compostos fenólicos, antocianinas e a atividade da kombucha podem ser afetados por vários fatores, incluindo o tipo de chá, o tempo de fermentação e a temperatura. Portanto, na Tabela 2 estão apresentados os resultados obtidos para o conteúdo fenólico total, antocianinas e atividade

antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP) das kombucha elaboradas com chá preto e 100 mg (K1) e 400mg (K2) de suco de kiwano.

Tabela 2. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante das kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano

Parâmetros	K1	K2
CFT (mg GAE/100g)	102,63 ± 2,14b	231,85 ± 3,48a
Antocianinas (mg/100g)	16,05 ± 1,20b	21,37 ± 0,93a
DPPH (µmol TE/g)	19,22 ± 0,11b	21,30 ± 0,21a
ABTS (µmol TE/g)	26,79 ± 0,20b	32,19 ± 0,42a
FRAP (µmol TE/g)	9,52 ± 0,12b	14,08 ± 0,19a

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma linha não apresentam diferença significativa entre as bebidas ($p < 0.05$); K1 é a kombucha elaborada com 100mg de suco de kiwano; K2 é a kombucha elaborada com 400mg de suco de kiwano; CFT é o conteúdo fenólico total; DPPH é o 2,2-difenil-1-picrilhidrazil, ABTS é o 2,2-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolona-6-sulfônico; FRAP é o poder antioxidante redutor férrico.

As bebidas elaboradas apresentaram CFT de 102,63 mg GAE/100g (K1) e 231,85 mg GAE/100g (K2), sendo significativamente influenciados pela proporção de suco de kiwano ($p < 0,05$). Dada et al. (2021), quantificaram 65,07 mg GAE/mL de compostos fenólicos em kombucha elaborada com chá verde. Segundo Zopellaro et al. (2019), os compostos fenólicos estão associados à proteção contra doenças degenerativas, como doenças cardíacas, diabetes e câncer, isso pode ser justificado pelo seu poder antioxidante que age combatendo os radicais livres, os quais atacam biomoléculas, tais como lipídeos e proteínas.

O teor de antocianinas das bebidas, apresentaram comportamento semelhante aos CFT ($p < 0,05$), apresentando valores entre 15–22 mg/100g. Januário et al. (2020), em seus estudos ao desenvolverem uma kombucha à base de chá de hibisco, obtiveram antocianinas variando de 17,99 a 30,89 mg/g. Segundo Freire et al. (2020) as antocianinas são pigmentos responsáveis por grande parte das cores em materiais vegetais. Estes compostos têm apresentado interesse industrial não só pelo seu potencial corante, mas também pelas suas propriedades antioxidantes. Torres-León et al. (2021), relataram que a adição de frutas como morango e maracujá durante a fermentação da kombucha levou a um aumento significativo nos teores de antocianinas. Além disso, a fermentação prolongada de 21 dias resultou em um aumento adicional desses compostos.

As atividades FRAP, DPPH e ABTS correlacionam-se positivamente com o CFT, sendo a maior atividade quantificada pelo método ABTS que apresentou 26,79 µmol TE/g (K1) e

32,19 $\mu\text{mol TE/g}$ (K2) ($p < 0,05$). Essas características fazem do suco do kiwano uma fonte interessante de compostos com propriedades antioxidantes para kombucha à base de chá preto, melhorando suas propriedades funcionais. Na Tabela 3 estão apresentados os resultados obtidos das análises microbiológicas das kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano.

Tabela 3. Avaliação microbiológica das kombucha de chá preto saborizada com polpa de kiwano

Parâmetros	K1	K2
<i>E. coli</i>	Ausente	Ausente
<i>Salmonella spp.</i>	Ausente	Ausente

Nota: K1 é a kombucha elaborada com 100mg de suco de kiwano; K2 é a kombucha elaborada com 400mg de suco de kiwano.

Com base nos resultados obtidos, obteve-se ausência dos microrganismos *E. coli* e *Salmonella spp.* nas bebidas elaboradas, indicando condições adequadas e seguras de higiene em seu preparo.

Conclusão

Nesse estudo, kombucha a base de chá preto com adição de suco de kiwano foi produzida e avaliada. O conteúdo de fenólicos totais, antocianinas totais e as atividades antioxidantes das bebidas aumentaram quando teve aumento na concentração do suco, sendo, portanto, 400mg (formulação K2) a condição com melhores características físico-químicas e bioativas. Considerando os benefícios à saúde que têm sido associados ao consumo de alimentos ricos em compostos com propriedades antioxidantes, o chá preto e o suco de kiwano aparecem como uma importante fonte para bebidas funcionais.

Referências

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

APHA. American Public Health Association. Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4th ed. Washington: APHA, 2001.

CHENG, M.; HE, J.; LI, C.; WU, G.; ZHU, K.; CHEN, X.; TAN, L. Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp. *LWT*, v.173, e114395, 2023.

DADA, A. P.; LAZZARI, A.; DE OLIVEIRA CESTÁRIO, A. C.; DA SILVA, D. S.; SARAIVA, B. R.; ROSA, C. I. L. F.; MATUMOTO-PINTRO, P. T. Characterization of kombucha made from green tea. *Research, Society and Development*, v.10, n.15, e576101522992, 2021.

FRANCIS, F. J. Analysis of anthocyanins. In: MARKAKIS, P. (Ed.). *Anthocyanins as food colors*. New York: Academic Press, 1982. p.1-37.

FREIRE, G. A. S.; DA COSTA SILVA, L.; DOS SANTOS, M. S. A.; DA SILVA SANT'ANA, A. M.; DA SILVA ARAÚJO, Í. B.; MANGOLIM, C. S. Anthocyanin content, color, texture, physical-chemical and microbiological characteristics of fermented milk with anthocyanin-rich extract obtained from red grapes. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.8, p.56192-56205, 2020.

FRUTIFERAS.COM.BR. Kiwano - Melão Chifrudo Africano - Sementes. Disponível em: <https://www.frutiferas.com.br/kiwano>. Acesso em: 10/05/2025.

HUANG, Y.; WU, M.; JIANG, R.; ZHANG, Q.; NIE, S. Phenolic compounds in kombucha tea: A review. *Química de Alimentos*, v.344, e128632, 2021.

JANUÁRIO, J. B.; MOREIRA, B. R.; PARAISO, C. M.; MIZUTA, A. G.; MADRONA, G. S. Kombucha à base de Hibiscus sabdariffa L: avaliação tecnológica para produção de uma nova bebida. *Brazilian Journal of Development*, v.6, n.1, p.3720-3732, 2020.

KAPPELLE, M., DE OLIVEIRA LINO, F. S., FREITAS, A. S., DA SILVA, M. A. A. P. Microbiology and production of kombucha: a review. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, v.31, n.1, p.1-18, 2021.

KILIC, G.; SENGUN, I. Y. Bioactive properties of Kombuchabeverages produced with Anatolian hawthorn (*Crataegus orientalis*) and nettle (*Urtica dioica*) leaves. *Food Bioscience*, v.53, e102631, 2023.

LI, J.; ZHU, X.; HU, Y.; XIE, J.; ZHANG, X.; WANG, H.; ZHANG, R.; GUO, Y.; HUANG, Y.; LIN, L. Chemical composition and in vitro antioxidant and antidiabetic properties of kiwano (*Cucumis metuliferus*) cultivated in China. *Food Science and Nutrition*, v.7, n.2, p.746-756, 2019.

LIU, C. H.; TSENG, K. C.; CHIANG, S. S.; TSAI, W. C.; CHEN, Y. C. Quantitative analysis of bacterial and fungal microbiome in kombucha fermentation by Internal Transcribed Spacer region (ITS) sequencing. *Food Microbiology*, v.62, p.269-276, 2016.

PATEL, J.; PATEL, A.; BHATT, N.; PRAJAPATI, J.; SHAH, N. The impact of fermentation conditions on kombucha quality attributes. *Journal of Food Science and Technology*, v.58, n.4, p.1341-1349, 2021.

SANTOS, Y. M. A.; MOTA, M. M. A.; GOUVEIA, D. S.; DANTAS, R. L.; SILVA, M. J. S.; MORAIS, I. S. Chemical characterization of Kombucha based on hibiscus and black tea. *Brazilian Magazine of Agrotechnology*, v.8, n.3, p.32-37, 2018.

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. Traditional and flavored kombuchas with pitanga and umbu-caja pulps: Chemical properties, antioxidants, and bioactive compounds. *Food Bioscience*, v.44, e101380, 2021.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.19, n.6-7, p.669-675, 2006.

TORRES-LEÓN, C.; RAMIREZ-MORENO, E.; GONZÁLEZ-CÓRDOVA, A. F. Chemical composition, functional properties and processing of kombucha: A review. *Food Chemistry*, v.350, e129229, 2021.

VIEIRA, E. F.; GROSSO, C.; RODRIGUES, F.; MOREIRA, M. M.; FERNANDES, V. C.; DELERUE-MATOS, C. Bioactive Compounds of Horned Melon (*Cucumis metuliferus* E. Meyer ex Naudin). *Bioactive Compounds in Underutilized Vegetables and Legumes*, v.1, n.21, p.1-21, 2020.

WANG, X.; WANG, D.; WANG, H.; JIAO, S.; WU, J.; HOU, Y.; YUAN, J. Chemical Profile and Antioxidant Capacity of Kombucha Tea by the Pure Cultured Kombucha. *LWT*, v.168, e113931, 2022.

YEMM, E. W.; WILLIS, A. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. *Biochemical Journal*, v.57, n.3, p.508-514, 1954.

YULIANA, N.; NURAINY, F.; SARI, G. W.; WIDIASTUTI, E. L. Total microbe, physicochemical property, and antioxidative activity during fermentation of cocoa honey into kombucha functional drink. *Applied Food Research*, v.3, e100297, 2023.

ZHU, M.; HUANG, R.; WEN, P.; SONG, Y.; HE, B.; TAN, J.; WANG, H. Structural characterization and immunological activity of pectin polysaccharide from kiwano (*Cucumis metuliferus*) peels. *Carbohydrate Polymers*, v.254, e117371, 2021.

ZISU, B., APOSTU, I., CIMPOIU, C. Study of the antioxidant and antimicrobial properties of fermented kombucha green tea. *Journal of Food and Nutrition Research*, v.59, n.2, p.141-152, 2020.

ZOPELLARO, S. R.; DA SILVA, S. Z.; LOVATO, F. R. Total phenolic compounds and antioxidant activity of grape residue flour. *FAG Journal of Health*, v.1, n.2, p.154-163, 2019.



CAPÍTULO V

Comportamento reológico do extrato de soja em pó reconstituído em diferentes concentrações

**Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Raphael Lucas Jacinto Almeida
Raniza de Oliveira Carvalho
Thaís Jaciane Araújo Rodrigues
Michael Marcos de Aquino Gomes
Juvêncio Olegário de Oliveira Neto
Matheus Felipe de Aquino Gomes**

Introdução

A soja é uma leguminosa originária da Ásia, mais especificamente da China e da Mongólia, onde é cultivada há mais de cinco mil anos (LEE et al., 2019). Dias et al. (2020) afirmam que, o extrato de soja é um produto obtido a partir da soja que contém alto teor de proteínas, fibras, vitaminas e minerais, além de ser uma importante fonte de compostos bioativos, como isoflavonas e ácidos graxos essenciais. Além disso, o extrato de soja é rico em proteínas, apresentando um teor médio de 37,4% de proteína bruta, e é uma fonte de carboidratos, fibras, minerais e vitaminas, bem como uma fonte de compostos bioativos, incluindo isoflavonas e antioxidantes (SILVA et al., 2019).

A produção do extrato de soja geralmente envolve a obtenção de uma pasta fina de soja, que é misturada com água quente para extrair os componentes solúveis. Em seguida, é realizada a separação da pasta em frações insolúveis em fibras e componentes solúveis, utilizando técnicas de centrifugação, filtração ou precipitação. Singh et al. (2020), afirmam que o extrato de soja é frequentemente utilizado como ingrediente funcional em produtos alimentícios, devido às suas propriedades nutricionais e funcionais.

O extrato pode ser utilizado como emulsificante, estabilizante, agente espessante e pode melhorar a textura e sabor dos alimentos. Com relação às técnicas de secagem do extrato de soja, Gómez et al. (2021) afirmam que, a liofilização é uma técnica eficaz para preservar as propriedades nutricionais e funcionais do extrato. A liofilização preserva a atividade enzimática e as propriedades antioxidantes do extrato de soja, além de reduzir a umidade e aumentar a estabilidade do produto.

O extrato de soja é um ingrediente versátil que pode ser utilizado em diversos alimentos, como bebidas, leite de soja, tofu, iogurtes, queijos, sorvetes, barras de cereais, hambúrgueres vegetarianos, entre outros (SINGH et al., 2020). Mas o conhecimento de suas propriedades reológicas se torna essencial para avaliar seu comportamento na geração de novos produtos.

Na indústria alimentícia, de modo geral, é de grande valia o estudo do comportamento reológico pois ajuda a compreender melhor a organização estrutural dos alimentos, conseqüentemente, ajudando na otimização do processo produtivo, influenciando diretamente o dimensionamento de bombas e tubulações adequadas para cada tipo de alimento, evitando erros no desenvolvimento de produtos e dos processos produtivos (ALMEIDA et al., 2020).

A reologia do extrato em pó reconstituído é um campo de estudo importante, pois está relacionada diretamente às características sensoriais e funcionais do produto, incluindo a

viscosidade, textura, estabilidade e capacidade de dissolução. Uma vez que, o processo de reconstituição é essencial para a utilização do produto em diferentes aplicações na indústria, pois permite o transporte e armazenamento do produto em pó, além de aumentar a vida útil e a conveniência do consumidor (MORAGA & RUBILAR, 2020).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo estudar o comportamento reológico do extrato de soja em pó reconstituído em diferentes concentrações por meio do ajuste de modelos matemáticos.

Material e Métodos

Amostra

Para realização desse trabalho foi utilizado extrato de soja em pó da marca comercial Tia Sônia® (Figura 1), adquirido no comércio local do município de Campina Grande, Paraíba, Brasil.



Figura 1. Extrato de soja em pó.

Fonte: TIASONIA.

Preparo das formulações

O extrato de soja em pó foi reconstituído conforme indicação do fabricante. Para isso, três diferentes concentrações foram elaboradas (25, 35 e 45%), sendo produzidas amostras de 500 ml para cada concentração (Figura 3). Essa mistura foi constantemente agitada, por meio de um agitador magnético até que todo o produto fosse diluído e ficasse homogêneo.

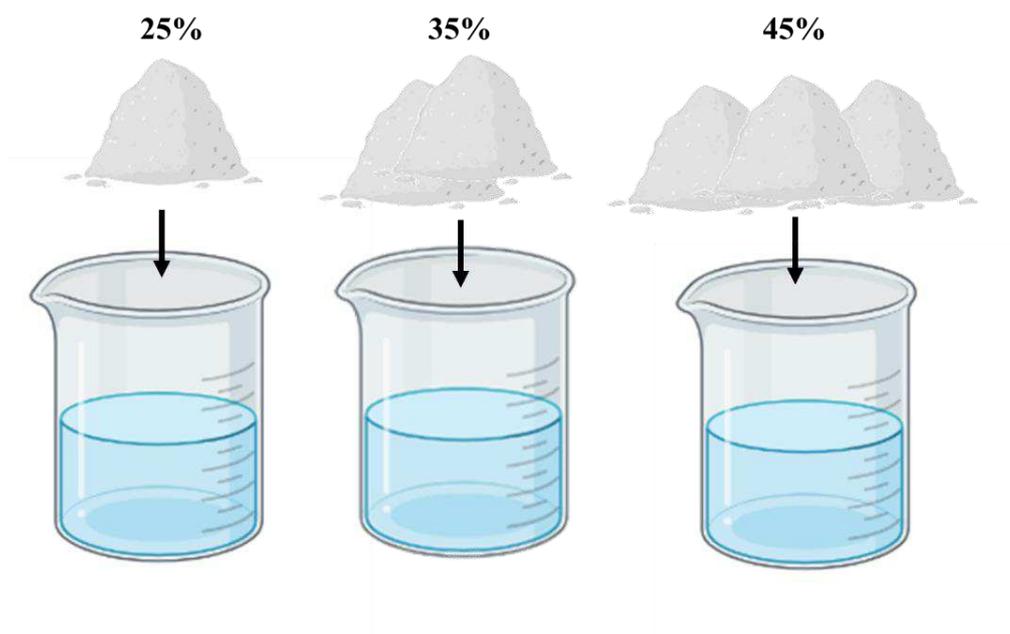


Figura 2. Etapa de preparo das formulações

Estudo reológico

As formulações reconstituídas do extrato de soja em pó foram usadas para realizar leituras reológicas usando o Digital Brookfield Viscometer DV-II +PRO (modelo RVT, MA, EUA) (Figura 3) nas velocidades de rotação de 5, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 150, 160, 180 e 200 rpm, e temperatura de 25°C. Para converter leituras de torque em medidas reológicas, utilizou-se o método proposto por Sousa et al. (2017).



Figura 3. Digital Brookfield Viscometer DV-II +PRO.

Fonte: Brookfield Engineering Laboratories.

Ajuste de modelos matemáticos

Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele (Equação 1), Herschel-Bulkley (Equação 2) e Casson (Equação 3), foram ajustados aos dados experimentais a partir do STATISTICA 8.0 software.

$$\tau = K\gamma^n \quad (\text{Eq.1})$$

$$\tau - \tau_{0H} = K_H\gamma^{nH} \quad (\text{Eq.2})$$

$$\tau^{0.5} = K_{0c} + K_c\gamma^{0.5} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde, τ : tensão de cisalhamento (Pa); τ_{0H} : tensão de cisalhamento inicial do modelo de Herschel-Bulkley (Pa); γ : taxa de deformação (s^{-1}); n and n_H : índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{0c} : raiz quadrada da tensão inicial (Pa); K , K_H and K_c : índices de consistência ($Pa \cdot s^{-1}$).

Resultado e Discussão

Na Figura 4, pode-se observar a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%). Para todas as concentrações estudadas, visualiza-se que a tensão de cisalhamento aumenta significativamente quando a taxa de deformação também aumenta. Pode-se visualizar também, que a formulação reconstituída com 45% de extrato de soja, apresentou o maior aumento em decorrência da sua maior viscosidade.

Para Moraga et al. (2020), a viscosidade é uma das principais características da reologia de produtos em pó reconstituído, sendo influenciada pela concentração de sólidos, a temperatura e o pH. Atribuímos também que esse comportamento é indicativo de um fluido não newtoniano. Para Nunes et al. (2014), a classificação de um fluido não-newtoniano é decorrente da observação da variação de viscosidade com a velocidade aplicada, ou seja, a viscosidade não é constante.

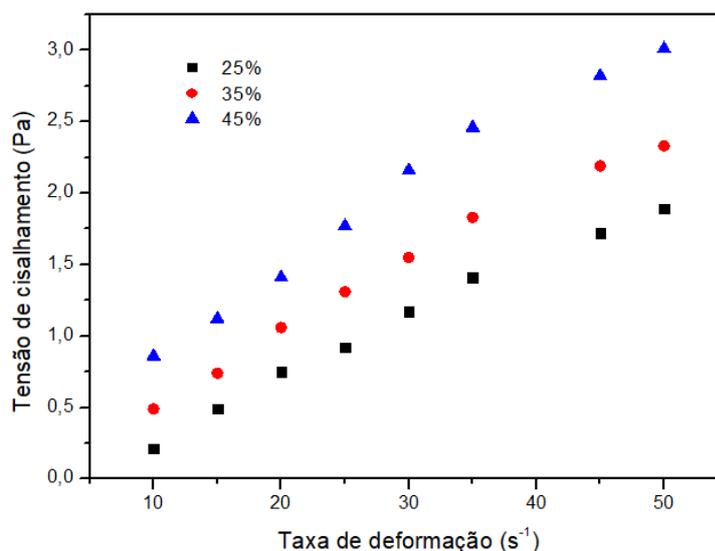


Figura 4. Relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%).

O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos fluidos são fatores importantes para os processos de desenvolvimento e otimização de equipamentos de processamento (LIU et al., 2019). Na Tabela 1, são apresentados os parâmetros estatísticos (R^2 and χ^2) dos modelos de Casson, Ostwald-de-Waelle e Herschel-Bulkley, ajustados ao conjunto de dados experimentais das formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%).

Tabela 1. Parâmetros estatísticos obtidos pelo ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais para as formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%)

Modelo	Concentração (%)	R^2	χ^2
Casson	25	0,9954	$1,253 \times 10^{-2}$
	35	0,9916	$2,252 \times 10^{-2}$
	45	0,9917	$1,763 \times 10^{-2}$
Ostwald-de-Waelle	25	0,9919	$1,691 \times 10^{-3}$
	35	0,9957	$3,853 \times 10^{-2}$
	45	0,9943	$2,014 \times 10^{-2}$
Herschel-Bulkley	25	0,9991	$1,084 \times 10^{-2}$
	35	0,9986	$2,368 \times 10^{-1}$
	45	0,9957	$1,114 \times 10^{-2}$

Nota: R^2 é o coeficiente de determinação; χ^2 é a função qui-quadrado.

Todos os modelos ajustados apresentaram $R^2 > 0,99$ para todas concentrações estudadas. A função qui-quadrado apresentou baixos valores variando de 1,253 a $2,252 \times 10^{-2}$ para o modelo Casson, de $1,691 \times 10^{-3}$ a $3,853 \times 10^{-2}$ para o modelo de Ostwald-de-Waelle e de $1,114 \times 10^{-2}$ a $2,368 \times 10^{-1}$ para o modelo de Herschel-Bulkley.

Portanto, com base nesses resultados, pode-se dizer que o modelo de Ostwald-de-Waelle foi o mais adequado para descrever o comportamento do fluxo reológico das formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%).

Na Tabela 2, são apresentados os parâmetros dos modelos reológicos obtidos pelo ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais para as formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%).

Tabela 2. Parâmetros dos modelos reológicos obtidos pelo ajuste dos modelos matemáticos aos dados experimentais para as formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações (25, 35 e 45%)

Modelo	Concentração (%)	k_{oc}	k_c	-
Casson	25	3,252	23,829	-
	35	-1,625	21,130	-
	45	-5,669	17,639	-
Modelo	Concentração (%)	k	n	-
Ostwald-de-Waelle	25	27,911	0,902	-
	35	18,991	0,925	-
	45	12,099	0,955	-
Modelo	Concentração (%)	τ_{0H}	K_H	n_H
Herschel-Bulkley	25	7,975	17,887	0,930
	35	6,530	12,117	0,964
	45	5,487	7,143	0,986

Nota: n e n_H é o índice de comportamento do fluido (adimensional); K_{oc} é a raiz quadrada da tensão inicial (Pa); K , K_H and K_c são índices de consistência ($Pa \cdot s^{-1}$); τ_{0H} é a tensão de cisalhamento inicial do modelo de Herschel-Bulkley (Pa).

O “ k ” é o índice de consistência e indica o grau de resistência do fluido ao escoamento (Almeida et al., 2020). Para os modelos ajustados, o valor de “ k ” diminuiu, sugerindo que a viscosidade do extrato reconstituído diminuiu com o aumento da sua concentração de 25% para 45% e com o aumento da taxa de deformação, mostrando comportamento pseudoplásticos (SAKR et al., 2023).

O valor de “ n ” para o modelo de Ostwald-de-Waelle apresentou valores na faixa de 0,902 (25%) a 0,955 (45%), enquanto que para o modelo de Herschel-Bulkley apresentou valores na faixa 0,930 (25%) a 0,986 (45%), sendo para ambos os modelos inferiores a 1, indicando que as formulações reconstituídas do extrato de soja em pó em diferentes concentrações podem ser classificadas como fluidos não newtonianos com tendência pseudoplástica ($n < 1$), independente da concentração utilizada. Segundo Barros et al. (2019), fluido não-newtoniano apresenta uma relação fixa entre as taxas de deformação e as tensões de cisalhamento, simplificando o cálculo de massas e volumes movimentados durante o processamento, uma vez que indica uma resposta linear a diferentes taxas de deformação.

Conclusão

O presente estudo foi capaz de avaliar o comportamento reológico do extrato de soja em pó reconstituído em diferentes concentrações, por meio do ajuste de modelos matemáticos. Através dos resultados verificou-se que em todas as concentrações a tensão de cisalhamento é baixa, no entanto, aumentou significativamente quando a taxa de deformação também aumentou. Todos os modelos matemáticos testados apresentaram ajuste satisfatório, destaque para o modelo de Ostwald-de-Waelle. Todas as formulações desenvolvidas foram classificadas como fluidos não-newtonianos com tendência pseudoplástica. Como futuros trabalhos, sugere-se a realização de estudos com variação de temperatura do processo e de outras concentrações do extrato de soja, a fim de ampliar o conhecimento sobre o tema.

Referências

ALMEIDA, R. L. J.; SANTOS, N. C.; PEREIRA, T. S.; SILVA, V. M. DE A.; RIBEIRO, V. H. A.; SILVA, L. N.; MUNIZ, C. E. S.; SILVA, L. R. I.; MOREIRA, F. I. N.; MONTEIRO, Y. G. Rheological study of jaboticaba pulp with different concentrations of gum arabic. *Research Society and Development*, v.9, n.3, e91932511, 2020.

BARROS, S. L.; SANTOS, N. C.; ALMEIDA, R. D.; DE ALCÂNTARA SILVA, V. M.; ALMEIDA, R. L. J.; NASCIMENTO, A. P. S. Comportamento reológico e perfil de textura de iogurte integral com polpa de achachairu (*Garcinia humilis*). *Revista Principia*, v.1, n.47, p.145-152, 2019.

BROOKFIELD ENGINEERING LABORATORIES, INC. Brookfield Viscometer: User Manual. Middleboro, MA, USA: Brookfield Engineering Laboratories, Inc., 2021.

GÓMEZ, B.; BARRERA, G. N.; VILLA, C. C.; PÉREZ, M. S.; FONSECA, L. C.; MORALES, G. M. Efeito de diferentes métodos de secagem nas propriedades físico-químicas e funcionais de isolados proteicos de soja. *Revista de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.58, n.1, p.27-34, 2021.

LEE, L.; ZHANG, Y.; ZHU, Y. Soy: A great crop with vast genetic resources and potential for genetic improvement. *Plant Cell Reports*, v.38, n.10, p.1187-1201, 2019.

LIU, J.; WANG, R.; WANG, X.; YANG, L.; SHAN, Y.; ZHANG, Q.; DING, S. Effects of high-pressure homogenization on the structural, physical, and rheological properties of lily pulp. *Foods*, v.8, n.10, e472, 2019.

MORAGA, G.; RUBILAR, M. Rheology and texture of reconstituted milk powder: a review. *International Dairy Magazine*, v.103, p.104599, 2020.

NUNES, J. S.; DE SOUSA, E. P.; DE CASTRO, D. S.; DE MELO SILVA, L. M.; DOS SANTOS MOREIRA, I. Evaluation of the physical and rheological profile of yogurt-flavored soy drink with strawberry pulp. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v.9, n.1, p.32-40, 2014.

SAKR, S. S.; MOHAMED, S. H.; ALI, A. A.; AHMED, W. E.; ALGHESHAIRY, R. M.; ALMUJAYDIL, M. S.; HASSAN, M. F. Nutritional, physicochemical, microstructural, rheological, and organoleptical characteristics of ice cream incorporating *adansonia digitata* pulp flour. *Foods*, v.12, n.3, e533, 2023.

SILVA, J. A.; SOUSA, M. G.; COSTA, L. S.; SOUSA, R. V.; CARVALHO, A. F. Chemical composition and functional properties of soybean extract. *International Journal of Food Research*, v.26, n.3, p.851-856, 2019.

SINGH, B. P.; GAJBHIYE, P. B.; KUMARI, A.; YADAV, R. B.; YADAV, R. B. Soy protein based emulsions: A review on processing, functional properties and applications. *Food Processing and Preservation Magazine*, v.44, n.1, e14312, 2020.

SOUSA, S. D. F.; QUEIROZ, A. J. D. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. D.; SILVA, F. B. D. Rheological behavior of whole and concentrated noni pulp. *Brazilian Journal of Food Technology*, v.20, e2016067, 2017.

TIASONIA. Extrato de soja. Disponível em: <https://tiasonia.com.br/pt-br/produtos/detalhe/62/extrato-de-soja>. Acesso em: 10 maio 2023.



CAPÍTULO VI

Bebida mista em pó composta por banana, abacate e leite obtida por spray dryer: influência da temperatura nas propriedades do pó

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva
Newton Carlos Santos
Victor Herbert de Alcântara Ribeiro
Raniza de Oliveira Carvalho
Thaís Jaciane Araújo Rodrigues
Michael Marcos de Aquino Gomes
Juvêncio Olegário de Oliveira Neto
Matheus Felipe de Aquino Gomes

Introdução

O processo de secagem por *spray dryer* é uma técnica amplamente utilizada para produzir pós secos a partir de líquidos (YANG et al., 2023). Basicamente, é um processo no qual um líquido é pulverizado em uma câmara de secagem quente com ar em alta velocidade, produzindo partículas finas que são secas rapidamente (DINCER & TEMIZ, 2023). O resultado é um pó fino com umidade muito baixa, que pode ser facilmente armazenado e transportado.

Em seus estudos, Gupta et al. (2021), explicam que o processo de secagem por *spray dryer* envolve a pulverização de um líquido em uma corrente de ar quente, promovendo a evaporação rápida do líquido e formação de partículas sólidas. Durante esse processo, a umidade é removida por evaporação, enquanto os sólidos se concentram nas partículas em suspensão no ar (ARUMUGHAM et al., 2023).

A temperatura do ar de secagem, a concentração do líquido alimentado e o tamanho das partículas produzidas são alguns dos fatores que afetam a qualidade do produto obtido por meio do *spray dryer* (SHRIVASTAVA et al., 2021).

O *spray dryer* é frequentemente usado na indústria alimentícia para a produção de pós de leite, café, soro de leite, extratos de frutas, polpas de frutas, entre outros produtos. O *spray dryer* é particularmente adequado para a secagem de produtos termossensíveis, uma vez que o tempo de contato com o ar quente é relativamente curto, o que minimiza a degradação térmica e a perda de nutrientes e sabor (GONÇALVES et al., 2016).

No caso da secagem de polpas de frutas, o *spray dryer* é uma técnica amplamente utilizada para a produção de pós de frutas. Isso permite que as frutas sejam armazenadas e transportadas com facilidade, mantendo seu sabor e nutrientes. Além disso, o pó de fruta é facilmente reconstituído em água, permitindo que as frutas sejam consumidas em qualquer época do ano (COUTINHO et al., 2022).

Algumas pesquisas relevantes mostram as vantagens do uso do *spray dryer* na secagem de polpas de frutas. Silva et al. (2018), compararam a secagem de polpas de manga por *spray dryer* e por secagem convencional e concluíram que a secagem por *spray dryer* resultou em pós de manga com melhor qualidade sensorial e maior estabilidade de cor.

Cerqueira et al. (2017), compararam a secagem de polpa de goiaba por *spray dryer* e por secagem ao ar livre e observaram que a secagem por *spray dryer* produziu pós de goiaba com melhor cor, sabor e textura. Assim, para o desenvolvimento dessa pesquisa foram selecionadas duas frutas: o abacate e a banana, que são matérias-primas que apresentam características nutricionais importantes, tornando-se fontes estratégicas de nutrientes na alimentação (KAFKAS et al., 2021; MARTIN et al., 2021).

O abacate é uma fruta originária da América Central e do Sul e é considerado uma fruta oleaginosa rica em gorduras monoinsaturadas saudáveis, vitaminas C, E, K e B6, potássio e fibras (RAZOLA-DÍAZ et al., 2023). Essa fruta apresenta textura cremosa, sabor suave, baixo teor de açúcar e sódio, além de possibilidade de utilização em diversas preparações, como guacamole, saladas, molhos, sobremesas e smoothies (MARTINEZ-RODRIGUEZ et al., 2022).

Já a banana é uma fruta importante no mundo por ser rica em vitaminas e outros nutrientes, possuir propriedades antioxidantes e apresentar grandes benefícios na prevenção de doenças e na manutenção da saúde humana, ocupa um status especial na dieta humana (OWOEYE et al., 2023). A banana, como fruta climatérica respiratória, é propensa a deterioração durante o armazenamento, resultando em desperdício considerável (XUE et al., 2021).

Portanto, o objetivo desse estudo é a elaboração de uma bebida mista em pó, através do processo de *spray dryer* e avaliar a influência da temperatura do processo no rendimento, compostos fenólicos, atividade antioxidante, potencial zeta e outras propriedades físicas.

Material e Métodos

Amostra

Para realização deste trabalho foi utilizado abacate (*Persea americana*) (Figura 1), banana (*Musa*) (Figura 2) e leite de vaca, ambos adquiridos no comércio local do município de Campina Grande, Paraíba, Brasil. O abacate e a banana estavam em estágio de maturação maduros.

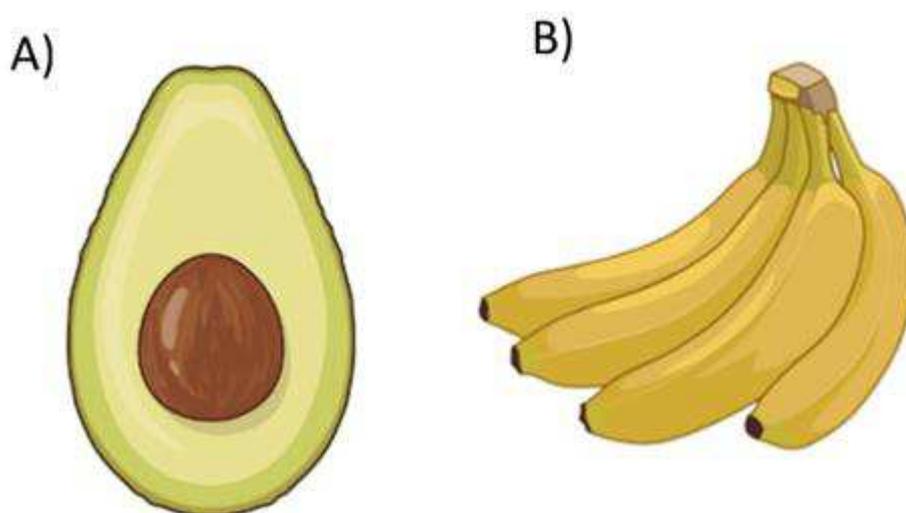


Figura 1. Abacate (*Persea americana*) (A) e banana (*Musa*) (B).

Fonte: BioRender.

Preparo da bebida mista

Os abacates e as bananas foram higienizados e sanitizados com hipoclorito de sódio (100 ppm/10min) seguindo de uma etapa de enxágue. Com auxílio de uma faca doméstica suas cascas foram removidas e sua polpa foi armazenada. A polpa de abacate e banana também foram submetidas a uma etapa de branqueamento (75°C/5 min) para evitar escurecimento enzimático.

Para obtenção da bebida mista utilizou-se 50% de polpa de abacate, 30% de banana e 20% de leite de vaca, no qual, foram misturados e processados durante 5 min em liquidificador doméstico (Figura 2). Essa mistura obtida foi utilizada para obtenção do pó.

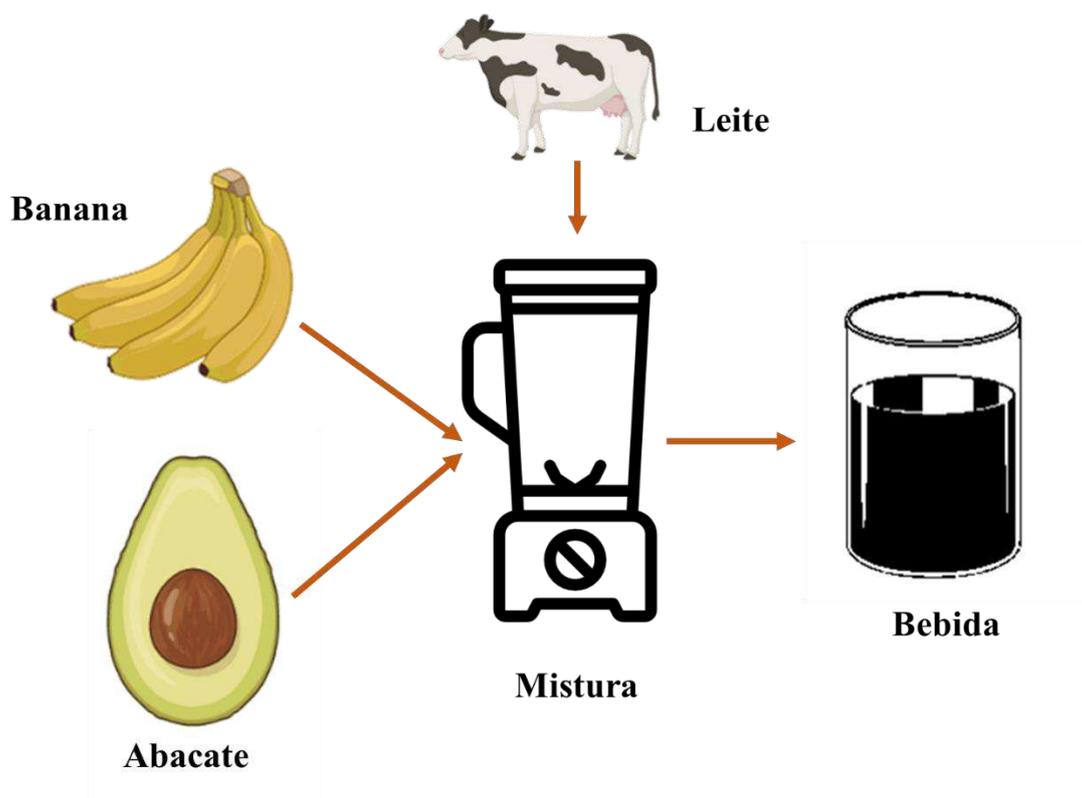


Figura 2. Etapa de preparo da bebida mista.

Processo de secagem da bebida mista

A bebida mista elaborada foi seca por *spray dryer* modelo ADL311S-A (Yamato Scientific®, Tóquio, Japão) com um fluxo de ar co-corrente usando uma concentração de maltodextrina de 20% (p/p). A temperatura de entrada do ar foi de 90, 140 e 190°C, e a taxa de fluxo de alimentação e velocidade de atomização de 300,05 mL/h e 17.433 rpm, respectivamente. Na Figura 3, pode-se visualizar de forma esquemática a etapa descrita.



Figura 3. Etapa de secagem para obtenção da bebida mista em pó.

Após a secagem, a bebida mista em pó foi coletada do recipiente de vidro e armazenado a -20°C em um dessecador. Todos os ensaios foram realizados em triplicata.

Rendimento do processo

O rendimento do processo foi determinado pela razão entre a massa de sólidos totais no pó e a massa de sólidos totais na solução de alimentação, conforme procedimento experimental proposto por Santana et al. (2016).

Determinação do conteúdo fenólico total (CFT)

Inicialmente um extrato aquoso foi preparado. Para isso, 1g de pó foi adicionado a 30 mL de água, em seguida, a mistura foi agitada por 1 h usando agitação magnética no escuro. O sobrenadante foi coletado após centrifugação a $10.000\times g$ por 10 min a 4°C . O ensaio de Folin-Ciocalteu foi utilizado para determinar o CFT do extrato da bebida mista em pós (CHENG et al., 2023). Resumidamente, 0,5 mL de extrato foram misturados com 2 mL de Na_2CO_3 7,5% (p/v) e 2 mL de reagente Folin-Ciocalteu. O valor da absorbância foi medido a 760 nm após 40 min de reação no escuro à temperatura ambiente. O CFT no extrato foi calculado como equivalentes de ácido gálico (mg GAE/100g).

Atividade antioxidante

Os ensaios de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), 2,2-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico) (ABTS) e o poder antioxidante redutor férrico (FRAP) foram realizados para medir as respectivas atividades antioxidantes de acordo com os métodos descritos por Thaipong et al. (2006). Os valores de absorbância dos ensaios DPPH, ABTS e

FRAP foram medidos por espectrofotômetro em 515, 734 e 593 nm, respectivamente. Os resultados foram expressos como equivalentes de Trolox em micromol ($\mu\text{mol TE/g}$).

Potencial Zeta

O potencial zeta foi determinado a 25°C e pH 7 usando um dispositivo (Zetasizer, Malvern Instrument). Para isso, micropartículas da bebida mista em pó foram dispersas em água deionizada e sua carga superficial foi medida. As medições foram realizadas em triplicata e cada amostra foi analisada 10 vezes.

Higroscopicidade

A higroscopicidade da bebida mista em pó foi medida colocando 2 g de pó em uma placa de Petri pré-pesada e a placa foi então colocada em um dessecador hermético contendo 500 mL de uma solução saturada de Na_2SO_4 . A higroscopicidade foi calculada como gramas de umidade adsorvida/100 g de sólidos secos (PUI et al., 2020).

Solubilidade

A solubilidade da bebida mista em pó foi determinada usando o método descrito por Kermanshahi et al. (2020). Para fazer isso, 1 g de pó foi adicionado a 100 ml de água destilada e agitado com um agitador magnético por 5 minutos à temperatura ambiente.

A mistura resultante foi centrifugada a $3000\times g$ por 5 min. Uma alíquota de 25 mL do sobrenadante foi então transferida para placas de Petri previamente pesadas e imediatamente secas em estufa a 105°C por 5 h. A solubilidade (%) foi calculada como a diferença de peso dos pós antes e depois da secagem.

Análise estatística

Os dados experimentais foram analisados em triplicata e os resultados submetidos à análise de variância de fator único (ANOVA) de 5% de probabilidade e as respostas qualitativas significativas foram submetidas ao teste de Tukey adotando-se o mesmo nível de 5% de significância. Para o desenvolvimento das análises estatísticas foi utilizado o software Assistat 7.7

Resultados e Discussão

Uma bebida mista composta por abacate, banana leite foi submetida ao processo de secagem por pulverização nas temperaturas de 90, 140 e 190°C, utilizando maltodextrina com

agente encapsulante. O rendimento do processo de secagem para cada condição é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Rendimento do processo de secagem da bebida mista composta por abacate, banana e leite de vaca

Temperatura de secagem (°C)	Rendimento do processo (%)
90	74,02 ± 1,96a
140	71,06 ± 1,55a
190	75,79 ± 2,01a

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre as temperaturas de secagem ($p < 0,05$).

Os rendimentos do processo foram superiores a 70% (>70%), ficando na faixa de 71,06% (140°C) a 75,79% (190°C). Observa-se que os resultados não apresentaram comportamento definido com a variação aumento da temperatura de secagem, assim como, os valores do rendimento do processo não apresentaram diferença estatísticas significativas quando comparadas as temperaturas testadas ($p < 0,05$).

Santana et al. (2016), obtiveram rendimento variando de 33,88 a 76,55% para secagem da polpa de juçara por pulverização na temperatura de 150°C. Coutinho et al. (2022), em seus estudos de secagem por pulverização da polpa de abacate a 110°C, obtiveram rendimento de 50%.

Os compostos fenólicos são importantes para a saúde humana, devido às suas propriedades antioxidantes. Além disso, os compostos fenólicos são importantes para a indústria alimentícia, pois podem melhorar a qualidade nutricional e a estabilidade de alimentos, além de melhorar a aceitação sensorial dos alimentos (SANTOS et al., 2019).

A quantificação do teor de compostos fenólicos totais da bebida mista em pó composta por abacate, banana e leite de vaca obtida por *spray dryer* nas temperaturas de 90, 140 e 190°C foi realizada e seus valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Compostos fenólicos totais da bebida mista em pó composta por abacate, banana e leite de vaca obtida por *spray dryer*

Temperatura de secagem (°C)	CFT (mg GAE/100g)
90	25,32 ± 0,98a
140	17,29 ± 1,12b
190	12,06 ± 0,88c

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre as temperaturas de secagem ($p < 0,05$); CFT: Compostos fenólicos totais expresso em mg GAE/100g.

O aumento da temperatura de secagem proporcionou redução significativa nos teores de CFT da bebida mista em pó ($p < 0,05$). Os valores variaram de 25,32 a 12,06 mg GAE/100g. Comportamento contrário ao do presente estudo foi relatado por Singh et al. (2019) em seus estudos com polpa em pó de Jamun (*Syzygium cumini L.*) obtida por spray dryer, no qual, a temperatura de 180°C preservou os CFT.

Segundo Rumpf et al. (2023), os compostos fenólicos apresentam propriedades antioxidantes crucial na saúde humana, pois são capazes de inibir ou retardar reações de oxidação indesejadas e, assim, prevenir o estresse oxidativo relacionado a doenças como pressão alta, doenças neurodegenerativas ou câncer.

Dessa forma, a atividade antioxidante da bebida mista em pó composta por abacate, banana e leite de vaca obtida por *spray dryer* nas temperaturas de 90, 140 e 190°C foi determinada por três diferentes métodos de quantificação e seus resultados são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Atividade antioxidante da bebida mista em pó composta por abacate, banana e leite de vaca obtida por *spray dryer*

Temperatura de secagem (°C)	ABTS ($\mu\text{mol TE/g}$)	DPPH ($\mu\text{mol TE/g}$)	FRAP ($\mu\text{mol TE/g}$)
90	2,77 \pm 0,10a	3,21 \pm 0,03a	1,44 \pm 0,11a
140	1,63 \pm 0,05b	2,06 \pm 0,14b	1,03 \pm 0,05b
190	1,19 \pm 0,11c	1,32 \pm 0,21c	0,75 \pm 0,09a

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre as temperaturas de secagem ($p < 0,05$); DPPH: 2,2-difenil-1-picrilhidrazil, ABTS: 2,2-azinobis (ácido 3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico); FRAP: Poder antioxidante redutor férrico.

Os valores da atividade antioxidante pelos três métodos de determinação foram significativamente reduzidos quando se teve aumento da temperatura de secagem ($p < 0,05$). Essa redução tem sido atribuída principalmente à degradação térmica de diferentes compostos bioativos, incluindo compostos fenólicos. Esse comportamento também foi observado por Comas-Serra et al. (2023) ao desenvolverem um novo ingrediente alimentar funcional obtido a partir do *Aloe Ferox* por spray dryer. Entre os métodos de quantificação, FRAP apresentou os valores mais baixos variando de 0,75 a 1,44 $\mu\text{mol TE/g}$, em contrapartida o método de DPPH apresentou os valores mais altos variando de 1,32 a 3,21 $\mu\text{mol TE/g}$.

O potencial zeta é uma medida do potencial eletrostático de partículas em suspensão, incluindo partículas de pós por spray dryer. É uma importante característica física que pode afetar a estabilidade e reatividade das partículas em suspensão (SHAHBAZIZADEH

et al., 2022). Além disso, o autor destaca que O potencial zeta pode ser influenciado por diversos fatores, como pH, concentração de íons, temperatura e presença de surfactantes. É importante manter um potencial zeta adequado para evitar a aglomeração das partículas e garantir a estabilidade da suspensão (SHAHBAZIZADEH et al., 2022).

Na Tabela 4, pode-se observar os resultados obtidos na determinação do potencial zeta da bebida mista em pó obtida por spray dryer em diferentes temperaturas de secagem.

Tabela 4. Potencial zeta da bebida mista em pó composta por abacate, banana e leite de vaca obtida por *spray dryer*

Temperatura de secagem (°C)	Potencial Zeta (mV)
90	-28,12 ± 0,11a
140	-27,19 ± 0,17b
190	-26,85 ± 0,22b

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre as temperaturas de secagem ($p < 0.05$).

O aumento da temperatura de secagem proporcionou aumento nos valores do potencial zeta, que apresentaram valores negativos variando de -28,12 a -26,85 mV. No entanto, os valores obtidos nas temperaturas de 140 e 190°C não apresentaram diferenças estatísticas significativas quando comparados entre si ($p < 0,05$).

Segundo Rusheng et al. (2022), quanto maior o valor do potencial zeta (positivo ou negativo), maior é a repulsão entre as partículas, o que leva a uma suspensão mais estável. Por outro lado, valores baixos ou próximos de zero indicam uma menor repulsão, levando a aglomeração e sedimentação das partículas (RUSHENG et al., 2022).

Cai et al. (2020), estudaram o efeito da concentração de sólidos e da temperatura de secagem no potencial zeta de partículas de pó de frutas de wolfberry obtidas por spray dryer. Os resultados mostraram que o potencial zeta das partículas aumentou com o aumento da concentração de sólidos e diminuiu com o aumento da temperatura de secagem.

A solubilidade e higroscopicidade são duas importantes características físicas dos pós obtidos por spray dryer (BORDÓN et al., 2021). Dessa forma, na Tabela 5 são apresentados os valores médios obtidos para higroscopicidade e solubilidade da bebida mista em pó obtida por spray dryer em diferentes temperaturas de secagem.

Tabela 5. Higroscopicidade e solubilidade da bebida mista em pó composta por abacate, banana e leite de vaca obtida por *spray dryer*

Temperatura de secagem (°C)	Higroscopicidade (%)	Solubilidade (%)
90	6,41 ± 0,10c	96,28 ± 0,49a
140	7,06 ± 0,15b	95,01 ± 0,52a
190	8,57 ± 0,21a	90,16 ± 0,35b

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna não apresentam diferença significativa entre as temperaturas de secagem ($p < 0,05$).

Pode-se observar que, os valores da higroscopicidade dos pós foram inferiores a 10%, variando de 6,41 a 8,57% sendo significativamente influenciados pela temperatura de secagem ($p < 0,05$). Já para solubilidade, os valores obtidos foram superiores a 90% variando de 90,16 a 96,28%. Estatisticamente as temperaturas de 90 e 140°C não influenciaram significativamente na solubilidade dos pós ($p > 0,05$).

A temperatura de secagem aumentou a higroscopicidade dos pós, no entanto, reduziu a sua solubilidade. Chen e Mujumdar (2019) afirmam que, a solubilidade e a higroscopicidade do pó são influenciadas por muitos fatores, como a composição do produto, o processo de secagem, as condições de armazenamento e as propriedades do material em si.

Gavahian et al. (2019), avaliaram a solubilidade e higroscopicidade de pó de romã obtido por *spray dryer* e a influência da adição de diferentes agentes encapsulantes, sendo eles: goma arábica, maltodextrina e lecitina. Os resultados mostraram que a adição de goma arábica, maltodextrina e lecitina em concentrações de 15, 5 e 1%, respectivamente, melhorou significativamente a solubilidade do pó, que aumentou de 36,5 para 92,5%.

Além disso, a higroscopicidade do pó também foi reduzida de 12,7% para 6,8% com a adição desses agentes encapsulantes. Chen e et al. (2020), avaliaram a influência da adição de maltodextrina como agente encapsulante na solubilidade e higroscopicidade de pó de morango obtido por *spray dryer*. Os resultados mostraram que a adição de maltodextrina melhorou significativamente a solubilidade e higroscopicidade do pó de morango.

Conclusão

Os resultados dessa pesquisa mostram que o processo de secagem por pulverização foi eficiente para obtenção de uma bebida mista em pó funcional e com perspectivas de aplicações no desenvolvimento de novos produtos. Nas condições testadas, o rendimento do processo foi superior a 70% e o pós apresentaram baixa higroscopicidade ($< 9\%$) e alta solubilidade ($> 90\%$). O aumento da temperatura de secagem reduziu o teor de compostos

fenólicos e conseqüentemente sua atividade antioxidante, no entanto, os valores do potencial zeta aumentara indicando que a suspensão das partículas era mais estável.

Referências

ARUMUGHAM, T.; KRISHNAMOORTHY, R.; ALYAMMAHI, J.; HASAN, S. W.; BANAT, F. Spray dried date fruit extract with a maltodextrin/gum arabic binary blend carrier agent system: Process optimization and product quality. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.238, e124340, 2023.

BIORENDER. Disponível em: <https://www.biorender.com/>

BORDÓN, M. G.; ALASINO, N. P.; CAMACHO, N.; YONAH, V.; TESORIERO, M. V. D.; RIBOTTA, P. D.; MARTÍNEZ, M. L. Spray-air contact and operating conditions in tall and short-form co-current spray dryers affect relevant physico-chemical properties of microencapsulated chia oil (*Salvia hispanica* L.). *Food and Bioproducts Processing*, v.127, p.309-327, 2021.

CAI, Y.; JIANG, Y.; LI, J.; LI, W.; ZHANG, L.; LIU, D.; HUANG, Q. Preparation and characterization of anthocyanin nanocapsules from purple sweet potato using spray drying. *Food Chemistry*, v.310, e125952, 2020.

CERQUEIRA, M. A.; CARVALHO, A. G.; SOUSA, P. H. M.; SOUZA, A. L. R.; CUNHA, R. L.; BONAFE, E. G. Effect of inlet air temperature and feed flow rate on spray drying of guava pulp (*Psidium guajava* L.) using central rotary composite design. *LWT - Food Science and Technology*, v.81, p.128-135, 2017.

CHENG, M.; HE, J.; LI, C.; WU, G.; ZHU, K.; CHEN, X.; TAN, L. Comparison of microwave, ultrasound and ultrasound-microwave assisted solvent extraction methods on phenolic profile and antioxidant activity of extracts from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) pulp. *LWT*, v.173, e114395, 2023.

COMAS-SERRA, F.; MARTÍNEZ-GARCÍA, J. J.; PÉREZ-ALBA, A.; SÁENZ-ESQUEDA, M. D. L. Á.; CANDELAS-CADILLO, M. G.; FEMENIA, A.; MINJARES-FUENTES, R. A New Functional Food Ingredient Obtained from *Aloe ferox* by Spray Drying. *Foods*, v.12, n.4, e850, 2023.

COUTINHO, I. B.; QUEZADAS, M. B.; DE SOUZA, L. F. G.; NITZ, M.; ANDREOLA, K. Spray drying of avocado pulp using the seed as an adjuvant. *Powder Technology*, v.408, e117738, 2022.

DINCER, E. İ.; TEMIZ, H. Investigation of physicochemical, microstructure and antioxidant properties of firethorn (*Pyracantha coccinea* Roemer var. *Lalandi*) microcapsules produced by spray-dried and freeze-dried methods. *South African Journal of Botany*, v.155, p.340-354, 2023.

GAVAHIAN, M.; GAVAHIAN, P.; VARIDI, M. J. Effect of maltodextrin, gum arabic and lecithin on physicochemical properties and encapsulation efficiency of pomegranate juice powder. *Journal of Food Science and Technology*, v.56, n.6, p.3114-3121, 2019.

GONÇALVES, B. L.; MENEZES, H. C.; PEREIRA, P. A. P.; SOUSA, W. H.; COSTA, J. M.; BARROS, L. A. F. Production of acerola powder by spray drying: Optimization of process conditions and physical-chemical properties. *Food Technology and Bioprocesses*, v.9, n.2, p.226-235, 2016.

GUPTA, S.; ARORA, K.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Tecnologia de secagem por pulverização para processamento de alimentos: Uma revisão. *Revista de Engenharia de Alimentos*, v.294, e110383, 2021.

HEN, C.; HUANG, H.; LI, Z.; FANG, Z.; ZHAO, L.; WANG, S.; SUN, Y. Influence of maltodextrin addition on the physicochemical and functional properties of strawberry powder obtained by spray drying. *LWT*, v.118, e108800, 2020.

KERMANSHAHI, S. N.; SHARIFAN, A.; YOUSEFI, S. Physicochemical, microstructural, bioactivity and viability characteristics of probiotic spray-dried raisin powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.15, p.633-642, 2021.

MARTIN, M. A.; ZÚÑIGA-MONTERO, K.; SALAZAR-VEGA, R. Avocado and banana: Two promising raw materials as sources of nutrients and functional compounds in food products. *Chemical Food*, v.357, e129682, 2021.

MARTINEZ-RODRIGUEZ, B.; ROMANI PEREZ, A.; EIBES, G.; GARROTE VELASCO, G.; GULLON ESTEVEZ, B.; GARCIA DEL RIO, P. Potential and prospects for utilization of avocado by-products in integrated biorefineries. *Bioresource Technology*, v.364, e128034, 2022.

OWOEYE, O. R.; OLUWOLE, A. M.; JOLAYEMI, O. S.; OLUWALANA, I. B. Linear and nonlinear regression modeling of the chemical, physical and quality variations in Cardaba banana (*Musa acuminata x balbisiana*-ABB) during ripening. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.17, n.1, p.12-23, 2023.

PUI, L. P.; KARIM, R.; YUSOF, Y. A.; WONG, C. W.; GHAZALI, H. M. Optimization of spray-drying parameters for the production of Cempedak (*Artocarpus integer*) fruit powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.14, n.6, p.3238-3249, 2020.

RAZOLA-DÍAZ, M. C.; GUERRA-HERNÁNDEZ, E. J.; GÓMEZ-CARAVACA, A. M.; GARCÍA-VILLANOVA, B.; VERARDO, V. Mathematical modelling of drying kinetics of avocado peels and its influence on flavan-3-ols content and antioxidant activity. *LWT*, v.176, e114552, 2023.

RUMPF, J.; BURGER, R.; SCHULZE, M. Statistical evaluation of DPPH, ABTS, FRAP, and Folin-Ciocalteu assays to assess the antioxidant capacity of lignins. *International Journal of Biological Macromolecules*, v.233, e123470, 2023.

RUSHENG, Q.; YUNSHENG, Z.; YU, Z.; CHENG, L.; LIN, Y.; DEYU, K. Effects of aqueous-phase speciation on Portland cement and supplementary cementitious materials as reflected using zeta potential of powder suspensions. *Construction and Building Materials*, v.345, e128258, 2022.

SANTANA, A. A., CANO-HIGUITA, D. M., DE OLIVEIRA, R. A., & TELIS, V. R. (2016). Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chemistry*, 212, 1-9.

SANTANA, A. A.; CANO-HIGUITA, D. M.; DE OLIVEIRA, R. A.; TELIS, V. R. Influence of different combinations of wall materials on the microencapsulation of jussara pulp (*Euterpe edulis*) by spray drying. *Food Chemistry*, v.212, p.1-9, 2016.

SANTOS, S. S.; RODRIGUES, L. M.; COSTA, S. C.; MADRONA, G. S. Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by spray-dryer and pH stability evaluation. *Food Packaging and Shelf Life*, v.20, e100177, 2019.

SHAHBAZIZADEH, S.; NAJI-TABASI, S.; SHAHIDI-NOGHABI, M. Entrapment of curcumin in isolated soy protein-alginate nanogels: antioxidant stability and in vitro gastrointestinal digestion. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.17, n.1, p.1-14, 2022.

SHRIVASTAVA, A.; TRIPATHI, A. D.; PAUL, V.; RAI, D. C. Optimization of spray drying parameters for custard apple (*Annona squamosa* L.) pulp powder development using response surface methodology (RSM) with improved physicochemical attributes and phytonutrients. *LWT*, v.151, e112091, 2021.

SILVA, F. A. S.; ROCHA, R. S.; VIEIRA, A. H.; RESENDE, J. V.; BOTELHO, F. M.; SILVA, E. K. Spray drying of mango pulp: Effect of inlet air temperature and feed flow rate on physical and chemical characteristics. *Food Chemistry*, v.252, p.142-148, 2018.

SINGH, C. S.; PASWAN, V. K.; RAI, D. C. Process optimization of spray dried Jamun (*Syzygium cumini* L.) pulp powder. *LWT*, v.109, p.1-6, 2019.

THAIPONG, K.; BOONPRAKOB, U.; CROSBY, K.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; BYRNE, D. H. Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, v.19, n.6-7, p.669-675, 2006.

XUE, S.; YIN, Y.; WANG, Z.; YU, H. Banana spoilage benchmark determination method and early warning potential based on hyperspectral data during its storage. *Journal of Food Measurement and Characterization*, v.15, n.5, p.4061-4072, 2021.

YANG, D. L.; LIU, R. K.; WEI, Y.; SUN, Q.; WANG, J. X. Micro-sized nanoaggregates: Spray-drying-assisted fabrication and applications. *Particuology*, v.85, p.22-48, 2023.

CURRICULUM DOS ORGANIZADORES E AUTORES

Juvêncio Olegário de Oliveira Neto: Técnico em Alimentos pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), Campus Pau dos Ferros/RN (2016). Graduado do curso de Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Campina Grande (CCTA/UFCG), Campus Pombal/PB (2017). Atualmente é Mestrando no Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola (PPGEA) pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Possui experiência em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, atuando nas áreas de Desenvolvimento de novos produtos, Reaproveitamento de resíduos agroindustriais, Rotulagem nutricional, Processamento de Alimentos de Origem Vegetal e Animal, Análises Físico-químicas, Sensoriais e Microbiológicas de Alimentos, Controle de Qualidade e Armazenamento de Produtos Alimentícios.

 <https://orcid.org/0000-0003-2765-5835>

juvencio_oliveira12@hotmail.com

Matheus Felipe de Aquino Gomes: Possui curso técnico profissionalizante em enfermagem integrado ao ensino médio pela Escola Estadual de Educação Profissional Poeta Sinó Pinheiro (2013) e Graduação em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG (2018) e Pós-Graduado em Dermatologia de Cães e Gatos. Atualmente é sócio da Clínica Veterinária Anymale. Atua na área de Dermatologia Veterinária prestando atendimentos mensais na Clínica Nosso Pet.

 <https://orcid.org/0000-0002-5291-570X>

matheus_felipe14@hotmail.com

Michael Marcos de Aquino Gomes: Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Paraíba, Brasil (2022). Mestrando em Engenharia Agrícola na linha de pesquisa Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas PPGEA/UFCG. Foi monitor das disciplinas Desenho Técnico (2017), Microbiologia Geral (2020) e pesquisador no Centro Vocacional Tecnológico - CVT/UFCG - Pombal-PB. Participou como voluntário do Programa

Institucional Voluntário de Iniciação Científica - PIVIC, 2019. Foi bolsista no Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação - PIBITI, 2021-2022. Possui curso técnico profissionalizante em Enfermagem integrado ao ensino médio pela Escola Estadual de Educação Profissional Poeta Sinó Pinheiro - EEEPPSP, 2013. Tem experiência em Agronomia, com ênfase em análises físico-químicas e microbiológicas de alimentos, pós-colheita de frutos e hortaliças e Tecnologia de sementes.

 <https://orcid.org/0000-0003-1213-6741>

michael.marcos@estudante.ufcg.edu.br

Newton Carlos Santos: *Bacharel em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB); Professional Internship realizado na ASA Indústria e Comércio - Vitamilho, trabalhando no setor de Controle de Qualidade; Especialista em Ciências e Tecnologia dos Alimentos pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN); Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), atuando na área de Transferência de Calor e Massa com ênfase em Refrigeração e Secagem de Alimentos. Atualmente é Doutorando em Engenharia Química na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Tem experiência em temas relacionados as áreas de: Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos, atuando na área de processamento de alimentos, com ênfase em processos de conservação de alimentos, cinética e modelagem matemática dos processos de secagem, propriedades físicas, tecnologias não convencionais no processamento de alimentos e desenvolvimentos de novos produtos. Além disso, também tem desenvolvido projetos com aplicação de pré-tratamentos para modificação de amido obtido de diferentes fontes.*

 <http://orcid.org/0000-0002-9603-2503>

newtonquimicoindustrial@gmail.com

Raphael Lucas Jacinto Almeida: *Bacharel em Química Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba (2017), onde trabalhou na área de microbiologia e produção de bebida láctea probiótica com adição de ingredientes derivados da casca de jabuticaba; Licenciado em Química pela Cruzeiro do Sul (2021), Professional Internship (2017) realizado na Indústria de Bebidas de Garanhuns - Jatobá LTDA, trabalhando nos setores de Controle da qualidade e Microbiologia; Especialista (2019) em Ciências e Tecnologia dos Alimentos pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte; Mestre em Engenharia Química (2019) pela Universidade Federal de Campina Grande, com experiência na área Biotecnologia com ênfase em hidrólise enzimática, extração de amido e beneficiamento de resíduos agroindustriais. Atualmente é Doutorando em Engenharia Química*

na Universidade Federal do Rio Grande do Norte, com projeto sobre produção de nanocristais de amido e estabilização de emulsões Pickering. Revisor dos periódicos: *Food Hydrocolloids*, *Journal of Food Engineering*, *Journal of Food Measurement and Characterization*, *Environmental Science and Pollution Research* e *Journal of Food Biochemistry*.

 <http://orcid.org/0000-0001-7232-2373>

raphaelqindustrial@gmail.com

Raniza de Oliveira Carvalho: Graduada em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande (2019). Mestranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Campina Grande com área de concentração em: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas. Atua no processamento, secagem, análises (químicas, físicas, reológicas e termodinâmicas) de alimentos e armazenamento. Com ênfase no reaproveitamento de resíduos agroindustriais.

 <https://orcid.org/0000-0003-0442-7231>

ranizacarvalho@hotmail.com

Thaís Jaciane Araújo Rodrigues: Graduação no curso de Engenharia de Alimentos pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Mestrado (concluído) e Doutorado (em andamento) Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) na área de Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas. Pós-graduação (concluído) em Engenharia de Segurança do Trabalho na Faculdade Integrada de Patos (FIP). Desenvolve atividades e possui experiência na área de tecnologia, processamento e análise de alimentos, além de atuar nas áreas de Química de Biomassa e de Meio Ambiente, com ênfase em tratamento de água e efluentes.

 <https://orcid.org/0000-0002-2032-6441>

thaisjaraujo@hotmail.com

Victor Herbert de Alcântara Ribeiro: Graduado em Agroecologia pela Universidade Estadual de Paraíba (2016). Mestre em Ciências Agrárias (Agroecologia) pelo Centro de Humanidades, Ciências Sociais e Agrárias da Universidade Federal da Paraíba - Campus III, Bananeiras. Doutorando em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais com ênfase na área de Transferência de Calor e Massa ligada à Refrigeração e Secagem de Alimentos (secagem, desidratação, liofilização, enriquecimento de alimentos e novos produtos (desenvolvimento de alimentos para

peixes com resíduos de algaroba *Prosopis juliflora* (Sw) DC) tem experiência com temas relacionados a biofertilizantes, organominerais e gergelim (*Sesamum indicum* L.).

 <http://orcid.org/0000-0001-6286-5403>

victor_herbert_cg@hotmail.com

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva: Licenciada em Ciências Biológicas pela Universidade do Vale do Acaraú-CE em 2010, licenciada em Química 2023, Especialização em Gestão da Qualidade e Segurança dos Alimentos pela Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA/UNICAMP em 2022, Especialista em Geografia e Gestão Ambiental pela Universidade Integrada de Patos - FIP - 2013. Especialista em Geoambiência e Recursos Hídricos do Semiárido - UEPB em 2013. Mestre e Doutora em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pela Universidade Federal de Campina Grande - UFCG em 2020, pesquisas na área de Crioconservação de Recursos Genéticos de Origem Vegetal com ênfase em amendoim (*Arachis hypogaea* L.), sorgo (*Sorghum bicolor*) e cunhã (*Clitoria ternatea*). Tem experiência em Transferência de Calor e Massa vinculados a Refrigeração e Secagem de Alimentos (secagem, desidratação osmótica, liofilização, enriquecimento de alimentos, inovação e desenvolvimento de novos produtos). Atualmente trabalha com Uso de tecnologias emergentes e novos ingredientes a base de plantas para o desenvolvimento de novos produtos como proteína do leite (PL), arroz (PA), ervilha (PE) e soja (PE). Integra o corpo editorial da editora EPTEC. Revisor dos Periódicos *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*; *African Journal of Plant Science*; *African Journal of Food Science*; *Journal of Development and Agricultural Economics*, *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, *Journal of Horticulture and Forestry (JHF)*, *Journal of Pharmaceutical Research International*, *Journal of Medicinal Plants Research*, *International Journal of Environment and Climate Change*, *African Journal of Agricultural Research* e *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*. Membro Integrante da Associação Paulista de Extensão Rural - APAER/SP. Membro Integrante da Rede Internacional de Pesquisa em Desenvolvimento Resiliente ao Clima - RIPERC- REDE RESILIÊNCIA CLIMÁTICA, criada em 2019, como uma parceria internacional, aprovado pelo edital do CNPQ/Fundação Araucária: PI 06/2018 PROGRAMA RESEARCHER LINKS (Reino Unido), que previu a organização do Workshop Brasil-Reino Unido sobre o Financiamento do Desenvolvimento Urbano Resiliente ao Clima realizado nos dias 09 a 13 de setembro de 2019.

 <http://orcid.org/0000-0001-6493-3203>

virginia.m.alcantara@gmail.com



978-65-00-70519-5