



AGRON FOOD
ACADEMY

PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS: PESQUISAS E INOVAÇÕES PARA NOVOS PRODUTOS

ORGANIZADORES

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

ORGANIZADORES

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

EDITOR-CHEFE EDITORA AGRON FOOD ACADEMY

Jackson Andson de Medeiros

REVISÃO FINAL

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



**Venda
proibida**



**Open
access**

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

Processamento de alimentos [livro eletrônico] :
pesquisas e inovações para novos produtos /
organização Virgínia Mirtes de Alcântara
Silva, Newton Carlos Santos, Victor Herbert de
Alcântara Ribeiro. -- Jardim do Seridó, RN :
Agron Food Academy, 2023.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-85062-09-1

1. Alimentos - Manipulação 2. Alimentos -
Medidas de segurança 3. Alimentos - Produção
4. Globalização 5. Mudanças climáticas 6. Tecnologia
de alimentos I. Silva, Virgínia Mirtes de Alcântara.
II. Santos, Newton Carlos. III. Ribeiro, Victor
Herbert de Alcântara.

23-181027

CDD-664

Índices para catálogo sistemático:

1. Tecnologia de alimentos 664

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

 **doi.org/10.53934/202311**

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



DEDICATÓRIA

Esta edição é dedicada ao estimado **Prof. Dr. Renato Ferraz de Arruda Veiga**, seu inestimável apoio e incentivo têm sido pilares fundamentais em minha trajetória acadêmica. A sua visão sobre a agricultura brasileira, tanto em relação aos seus materiais nativos quanto aos exóticos aclimatados, ressalta a importância do Brasil no cenário da segurança alimentar global. Expresso minha gratidão por sua valiosa contribuição e por ser um aliado imprescindível em nossa incessante busca por soluções sustentáveis e justas diante dos desafios alimentares globais.

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva

AGRADECIMENTOS

Em nome de toda a nossa equipe, gostaríamos de expressar nossa profunda gratidão a todos que contribuíram para o avanço e sucesso de nossas pesquisas nos últimos anos. A dedicação, compromisso, confiança e esforço contínuo de cada membro permitiram-nos alcançar resultados extraordinários, respaldados por dados estratégicos, tácitos e esperados.

A escolha meticulosa de técnicas de processamento e a adoção de tecnologias emergentes, com foco na preservação das características nutricionais e sensoriais dos produtos, bem como na eliminação de microorganismos patogênicos, foram cruciais para o nosso progresso. Estamos particularmente orgulhosos de nossas contribuições recentes no campo da aplicação de aceleradores de transferência de massa para melhorar a secagem de alimentos, destacando-se os estudos sobre pré- tratamento com etanol.

O livro PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS: PESQUISAS E INOVAÇÕES PARANOVOS PRODUTOS que é o culminar de nossos esforços, reflete nosso compromisso em alinhar nossas pesquisas com as diretrizes globais para a reforma dos sistemas alimentares.

Gostaríamos de agradecer especialmente ao Professor Renato Ferraz de Arruda Veiga por sua orientação inestimável ao longo de nosso trabalho. Nossa gratidão também se estende ao nosso querido amigo Marcelo Bregagnoli e à Prof. Dra. Aline Manke Nathingal pela atenção e simpatia contínuas. Ao pesquisador Afonso Peche Filho que merece nosso reconhecimento pelas constantes atualizações sobre tecnologias recentes e direção de pesquisa. Também somos gratos ao professor Alexandre Santos de Souza por seu incentivo e orientação sobre técnicas aplicadas a bebidas e aos processos industriais.

Nossa sincera gratidão à equipe do Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) de São Paulo pelo apoio constante e pelas valiosas orientações. Um agradecimento especial aos pesquisadores Dra. Darlila Aparecida Gallina e Dr. Paulo Henrique Massaharu Kiyataka pelo seu dedicado envolvimento e pela experiência que tão generosamente compartilharam conosco. Contamos com a continuidade dessa frutífera colaboração.

Nosso agradecimento ao CNPq e à CAPES pelas bolsas de mestrado e doutorado concedidas aos autores. Estas instituições têm sido pilares de apoio em nossa jornada acadêmica.

Por fim, agradecemos a todos que compartilham da nossa visão e aspiração. Esperamos que nosso trabalho continue a contribuir significativamente para o desenvolvimento tecnológico e produtivo do Brasil, visando a implementação de um modelo de produção de alimentos eficiente, limpo e seguro para o mundo.

Os autores

PREFÁCIO

DR. RENATO FERRAZ DE ARRUDA VEIGA

Diretor Administrativo - FUNDAG

O Brasil é um país privilegiado por sua diversidade e variabilidade em recursos fitogenéticos, lembrando que é comprovadamente o país de maior megadiversidade mundial, além de ser aquele onde “em se plantando tudo dá”, isto é, de grande adaptabilidade ao germoplasma exótico. Logicamente que tais espécies não foram introduzidas aleatoriamente, e sim por possuírem boas qualidades, desta forma temos uma ampla variedade de matérias-primas adaptadas com características únicas e abundantes em compostos bioativos, flavonoides e nutrientes essenciais.

A pujante agricultura brasileira, quer seja de seus materiais nativos quer exóticos aclimatados, desempenha um papel central para a segurança alimentar mundial, independentemente do material reprodutivo, quer sejam flores, folhas, frutos, grãos ou legumes, essenciais na formulação de novos produtos. Este livro explora muito bem o tema “Processamento de Alimentos: Pesquisas e Inovações para Novos Produtos”, utilizando-se das propriedades nutricionais e funcionais das matérias-primas do germoplasma vegetal, demonstrando suas aplicações obtidas através de tecnologias avançadas no processamento de alimentos.

Isto pode otimizar o aproveitamento de suas qualidades únicas e contribuir para a segurança alimentar global. Desta forma, enfatizou-se o uso de novas tecnologias buscando compreendê-las e aplicá-las no processamento de matérias-primas estratégicas, mesmo que exóticas, como: Acerola (Antilhas, América Central e norte da América do Sul), Arroz-preto (China), Grão-de-bico (Turquia), Morango (Europa), Nectarina (China), Pimenta-habanero-chocolate (México e Cuba), Tâmaras (África e Ásia) Tomate (Cordilheira dos Andes), e Linhaça-marrom (Ásia), cujas qualidades abrevia-se a seguir:

Acerola (*Malpighia puniceifolia* L.): É uma fruta rica em vitamina C, assim como outros antioxidantes carotenoides e polifenóis, possuindo ação anti-inflamatória, atuando na saúde cardiovascular, saúde ocular e da pele.

Arroz preto (*Oryza sativa* L.): Possui um grão integral com elevado teor de compostos bioativos, como antioxidantes, vitaminas e minerais. Sua utilização na produção de farinha de arroz preto agrega valor nutricional ao produto e contribui para a criação de alimentos mais saudáveis e funcionais.

Grão de bico (*Cicer arietinum* L.): É uma leguminosa rica em proteínas, fibras, minerais e vitaminas. Sua utilização como matéria-prima na produção de farinha de grão de bico é de grande importância, pois oferece uma fonte significativa de proteínas vegetais, sendo especialmente relevante para grupos específicos, como vegetarianos e veganos.

Morango (*Fragaria X ananassa* Duch.): É uma hortícola rica em vitamina C e outros antioxidantes como flavonoides e antocianinas, que podem reduzir o risco de doenças crônicas.

Nectarina (*Prunus pérsica* (L.) Batsh. var. *nucipersica*): É uma frutífera amplamente consumida e apreciada por seu sabor doce e suculento. Sua aplicação no desenvolvimento de produtos, como o smoothie de morango com acerola, contribui para a adição de compostos bioativos, como vitaminas e antioxidantes, que melhoram o perfil nutricional do alimento.

Pimenta-habanero-chocolate (*Capsicum chinensis* Jacq.): O nome habanero refere-se à sua procedência de Havana – Cuba, assim, o nome vulgar ideal no Brasil seria “Pimenta-Cubana” ou “Pimenta-Mexicana”. Sua farinha é uma fonte rica em compostos bioativos, como compostos fenólicos e antocianinas, que possuem propriedades antioxidantes benéficas para a saúde. Sua utilização no desenvolvimento de molho de tomates enriquece o produto final com esses compostos, tornando-o uma opção funcional e nutritiva.

Tâmara (*Phoenix dactylifera* L.): São consumidas na forma de frutas secas, muito doces e de textura macia. São uma excelente fonte de energia, ricas em carboidratos, especialmente açúcares naturais como a frutose e a glucose. Elas também contêm fibras dietéticas que contribuem para a saúde do sistema digestivo e auxiliam na regulação do açúcar no sangue. Contêm várias vitaminas e minerais essenciais, incluindo potássio, magnésio, vitamina B6 e ferro. Esses nutrientes são importantes para o funcionamento adequado do organismo, incluindo a manutenção da saúde cardiovascular, do sistema nervoso e a prevenção de anemia. Também são ricas em compostos antioxidantes, como flavonoides, carotenoides e fenóis.

Tomate (*Solanum lycopersicum* L.): É rico em licopeno, o antioxidante que lhe proporciona a sua cor e ajuda a combater os radicais livres no corpo. Possui vitaminas e sais minerais como vitamina C, K, e B9, relevantes ao sistema imunológico, na coagulação sanguínea e na função muscular.

Linhaça marrom (*Linum usitatissimum* L.): É amplamente utilizada na alimentação humana, por ser rica em ácido alfa-linolênico (ALA), um tipo de ácido graxo ômega-3 essencial, excelente para a saúde cardiovascular, auxiliando na redução do colesterol ruim (LDL) e na promoção da saúde do coração. É excelente fonte de fibras solúveis e insolúveis, que são importantes para a saúde digestiva. É rica em compostos antioxidantes, como lignanas e flavonoides, e possui proteínas,



que combatem o estresse oxidativo e protege as células contra danos causados pelos radicais livres, auxiliando na prevenção de doenças e no envelhecimento saudável.

Ao longo dos capítulos verifica-se um estudo abrangente sobre diversos processos tecnológicos utilizados no desenvolvimento de alimentos a partir das matérias-primas selecionadas. Desde a produção de farinhas derivadas de Grão-de-bico e Arroz-preto até a análise detalhada do comportamento reológico e formulações inovadoras, como o molho de Tomate com farinha de pimenta, os smoothies de Morango e Acerola suplementados com proteína vegetal e o desenvolvimento de cookies com Tâmaras e farinha de Linhaça-marrom.

Destaca-se a relevância dessas formulações no contexto de uma alimentação saudável e equilibrada, além de ressaltar sua importância para a diversificação do mercado de alimentos, oferecendo opções mais nutritivas e atrativas aos consumidores.

Ademais, enfatiza-se a importância de incorporar práticas sustentáveis no setor agrícola e no processamento de alimentos, buscando preservar o meio ambiente e promover uma agricultura regenerativa, que contribua para a saúde do solo, a conservação da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas.

É com grande satisfação que prefacio essa obra, pois, ressalta a importância da agricultura regenerativa e sustentável, no contexto do processamento de alimentos, bem como eleva o potencial do Brasil na segurança alimentar mundial.

Ao longo de cada capítulo deste livro você verá a interdisciplinaridade em estudos minuciosos sobre tecnologia, inovação e sustentabilidade no processamento e preservação de alimentos.

Destaca-se o esforço conjunto da equipe de pesquisadores que trabalhou eficazmente na promoção de seu conhecimento científico, disponibilizando as pesquisas aqui apresentadas de forma gratuita e replicável.

Enfim, prevejo que esta obra será uma fonte de inspiração e conhecimento para pesquisadores, aos profissionais da indústria de alimentos, aos estudantes e todos aqueles comprometidos em promover uma alimentação mais saudável, sustentável e diversificada à sociedade em geral. Nosso desejo é que as tecnologias e inovações aqui apresentadas contribuam para o desenvolvimento de uma indústria alimentícia mais resiliente e responsável, e que por pesquisar espécies exóticas proporcionará um impacto positivo global.

APRESENTAÇÃO

É com grande alegria que apresento essa obra, intitulada **PROCESSAMENTO DE ALIMENTOS: PESQUISAS E INOVAÇÕES PARA NOVOS PRODUTOS** que representa uma importante contribuição para a área de processamento de alimentos no cenário atual. Nos últimos anos, temos testemunhado o papel crucial que a tecnologia desempenha no processamento de alimentos em escala global. Países como o Brasil, China, Índia, Estados Unidos, América Latina e África têm se empenhado em investir cada vez mais em novas tecnologias, a fim de atender à crescente demanda por alimentos seguros e de alta qualidade, considerando o crescimento populacional estimado e os desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Nesse contexto, a segurança alimentar é uma prioridade fundamental, assegurando que os alimentos atendam aos mais altos padrões de qualidade e garantam a saúde e bem-estar da população global. Este livro destaca a importância de compreender e aplicar essas tecnologias inovadoras no processamento de alimentos, especialmente utilizando matérias-primas estratégicas, como arroz preto, tâmaras, linhaça marrom, grão de bico, nectarina, tomate, pimenta habanero, morango e acerola. Além disso, destaco a utilização de leveduras do gênero *Saccharomyces* na fermentação do mel, evidenciando a importância da tradição e técnica na produção de hidromel para valorizar os insumos naturais do Nordeste brasileiro.

Adicionalmente, temos pesquisas que evidenciam a importância dos Testes Acelerados de Vida-de-Prateleira na avaliação da estabilidade de bebidas alcoólicas mistas de doce de leite, fornecendo dados cruciais sobre a viabilidade e durabilidade desses produtos sob condições de temperatura elevada. Por fim, temos um excelente estudo que destaca a importância de compreender a cinética de congelamento da polpa mista de seriguela e *Spirulina platensis*, revelando dados sobre a difusividade térmica efetiva e as fases do processo em diferentes temperaturas, fundamentais para garantir a qualidade do produto congelado.

Cada uma dessas matérias-primas apresenta características únicas e ricas em compostos bioativos, flavonoides e outros nutrientes essenciais, que são minuciosamente explorados ao longo desta obra. Uma variedade de processos tecnológicos foi utilizada no desenvolvimento de novos alimentos a partir dessas matérias-primas que são abordados de forma abrangente, desde a produção de farinhas como grão de bico e arroz preto até a análise do comportamento reológico, além de formulações avançadas, como o molho de tomate com farinha de pimenta, os smoothies de morango e acerola suplementados com proteína vegetal e desenvolvimento de cookies com tâmaras e farinha de linhaça marrom.

Assim, o livro representa uma verdadeira obra-prima no campo do processamento e tecnologia de alimentos, com uma abordagem abrangente sobre diversos temas de extrema importância para a formulação de novos produtos. Suas páginas são repletas de informações valiosas. Uma das principais contribuições

desta obra é a visão aprofundada sobre a otimização dos processos de cozimento e tratamento em micro-ondas, que possibilitam a preservação das propriedades nutricionais e funcionais da farinha de grão de bico. Essa leguminosa é reconhecida como uma importante fonte de proteínas vegetais, e garantir que seus benefícios nutricionais sejam mantidos durante o processamento é fundamental para o desenvolvimento de alimentos saudáveis e sustentáveis.

Outro destaque do livro é a exploração da alta pressão hidrostática como uma técnica não térmica inovadora, capaz de aprimorar a qualidade e segurança da polpa de nectarina. A aplicação dessa técnica preserva as características sensoriais da fruta, bem como os nutrientes sensíveis ao calor, oferecendo ao consumidor uma experiência mais saudável e saborosa. Um dos pontos mais interessantes desta obra é o desenvolvimento de um smoothie de morango com acerola suplementado com proteína vegetal. Essa criação é resultado do esforço contínuo da equipe de pesquisa para criar produtos inovadores, ricos em compostos fenólicos e antioxidantes benéficos à saúde humana. A inclusão da proteína vegetal enriquece ainda mais a bebida, tornando-a uma opção nutricionalmente equilibrada e funcional, que contribui para a alimentação saudável.

Enfatizo ainda que, a utilização de tâmaras e a linhaça marrom que são ingredientes de grande importância no desenvolvimento de novas formulações de alimentos, devido ao seu potencial de nutrientes como fibras, antioxidantes, ácidos graxos ômega-3 e compostos bioativos, que conferem benefícios à saúde e agregam valor nutricional aos produtos. A inclusão das tâmaras e linhaça marrom em novas formulações de alimentos como cookies possibilita a criação de opções mais saudáveis e funcionais, atendendo às necessidades dos consumidores por produtos nutricionalmente ricos e com propriedades benéficas para a saúde.

De grande importância também é a produção de hidromel uma bebida fermentada onde a levedura *Saccharomyces* converte os açúcares do mel em álcool e dióxido de carbono, com seu desenvolvimento influenciado por fatores como temperatura e concentração de açúcar. Em outra vertente, estudos mostram a eficácia dos Testes Acelerados de Vida-de-Prateleira ao analisar a longevidade e estabilidade de bebidas alcoólicas mistas, especialmente quando expostas a altas temperaturas. Além disso, a análise profunda do processo de congelamento de polpas, como a de seriguela combinada com *Spirulina platensis*, traz à tona informações sobre a dinâmica térmica e as etapas envolvidas, sendo vital para manter a integridade de alimentos congelados.

O CAPÍTULO 1 INFLUÊNCIA DO COZIMENTO E TRATAMENTO EM MICROONDAS NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS DA FARINHA DE GRÃO DE BICO abordou a importância dessa leguminosa como uma rica fonte de proteínas, fibras, minerais e vitaminas para a dieta humana. No entanto, o processo de cozimento convencional pode levar à perda de nutrientes sensíveis ao calor. Para otimizar e preservar as propriedades nutricionais e funcionais da farinha de grão de bico, o tratamento em micro-ondas é uma alternativa vantajosa. Essa técnica permite o aquecimento rápido e uniforme, resultando em menor degradação de nutrientes sensíveis ao calor, como algumas vitaminas e enzimas. Além disso, estudos mostram que o tratamento em micro-ondas melhora a digestibilidade das

proteínas, tornando-as mais facilmente absorvíveis pelo corpo humano, o que é especialmente benéfico para vegetarianos e veganos em busca de fontes de proteínas vegetais.

O CAPÍTULO 2 - FERMENTAÇÃO DE PIMENTA HABERANO LARANJA (CAPSICUM CHINENSE L): CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE Este estudo se concentra na fermentação da pimenta habanero laranja (*Capsicum chinense* L), uma pimenta conhecida por suas propriedades antioxidantes e benefícios à saúde. A fermentação é um processo biológico que pode melhorar as características sensoriais e nutricionais dos alimentos, além de prolongar sua vida útil. No caso das pimentas habanero laranja, a fermentação pode alterar sua composição química, resultando em mudanças na concentração de compostos antioxidantes e outros metabólitos. Assim, o estudo avaliou o efeito da concentração de sal nas características físico-químicas e antioxidantes das pimentas habanero laranja durante a fermentação. Isso inclui a determinação de parâmetros como pH e acidez titulável. Além disso, o estudo avaliou a capacidade antioxidante das pimentas fermentadas. A compreensão dos efeitos da fermentação na composição e propriedades das pimentas habanero laranja pode contribuir para sua utilização mais ampla na indústria de alimentos e nutracêuticos, oferecendo produtos com valor agregado e benefícios à saúde. A fermentação, portanto, não apenas preserva os alimentos, mas também pode potencialmente melhorar seu valor nutricional e funcional

O CAPÍTULO 3 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FÍSICA E FUNCIONAIS DE COOKIES ELABORADOS COM FARINHA DE TÂMARÁ, tratou do desenvolvimento destacando a utilização dessas matérias-primas para enriquecer o valor nutricional dos cookies e proporcionar benefícios para a saúde, devido ao teor de fibras, antioxidantes e ácidos graxos ômega-3 presentes nas tâmaras e linhaça marrom. A pesquisa nessa área contribui para a inovação na indústria de alimentos, oferecendo opções mais saudáveis e atrativas para os consumidores preocupados com a alimentação equilibrada e funcional.

O CAPÍTULO 4 - COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE NECTARINA SUBMETIDA A ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA, abordou como essa técnica não térmica pode influenciar as propriedades mecânicas e de fluxo do produto, resultando em modificações na textura e consistência da polpa. Neste capítulo, são apresentados estudos detalhados sobre os efeitos da alta pressão hidrostática na polpa de nectarina, visando a preservação das características sensoriais e nutricionais do produto. As análises reológicas permitem entender a resposta mecânica da polpa sob diferentes condições, contribuindo para o avanço do conhecimento na área de processamento de alimentos. Além disso, contribui para o conhecimento científico sobre técnicas de processamento não térmico, que são cada vez mais procuradas para atender às demandas dos consumidores por alimentos mais naturais e saudáveis. Em resumo, o estudo do comportamento reológico da polpa de nectarina submetida a alta pressão hidrostática é uma área de pesquisa promissora, com potencial para aprimorar a qualidade dos alimentos e promover uma alimentação mais nutritiva e segura.

CAPÍTULO 5 - DESENVOLVIMENTO DE MOLHO DE TOMATES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE PIMENTA HABANERO CHOCOLATE, explorou com foco na determinação de compostos fenólicos, antocianinas e na avaliação de sua atividade antioxidante. Neste capítulo, são apresentados estudos detalhados sobre a composição química do molho de tomates, investigando como as variações nas concentrações de farinha de pimenta Habanero Chocolate impactam os compostos bioativos presentes e sua capacidade antioxidante, contribuindo para a compreensão do potencial nutricional e funcional do produto final. A determinação de compostos fenólicos e antocianinas no molho de tomates é de suma importância para avaliar o potencial antioxidante do produto. Os compostos fenólicos são conhecidos por sua capacidade de neutralizar radicais livres, reduzindo o estresse oxidativo no organismo e contribuindo para a prevenção de doenças crônicas, como doenças cardiovasculares e câncer. Além disso, as antocianinas, que são responsáveis pela cor característica da pimenta Habanero Chocolate, também têm propriedades antioxidantes que podem promover a saúde e o bem-estar.

CAPÍTULO 6 - O DESENVOLVIMENTO DE UM SMOOTHIE DE MORANGO COM ACEROLA SUPLEMENTADO COM PROTEÍNA VEGETAL: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ANTIOXIDANTES. A pesquisa concentrou-se na caracterização físico-química do smoothie e na determinação dos compostos fenólicos e antioxidantes presentes na bebida. Assim, são realizadas análises detalhadas das propriedades físicas e químicas do smoothie, como pH, viscosidade e teor de sólidos solúveis, proporcionando uma compreensão abrangente de sua composição. Além disso, a pesquisa avalia a presença de compostos fenólicos e antioxidantes no smoothie, provenientes das frutas de morango e acerola, bem como da proteína vegetal adicionada, buscando evidenciar o potencial impacto na saúde humana. Os resultados apresentados neste capítulo contribuem para destacar o valor nutricional do smoothie de morango com acerola suplementado com proteína vegetal, evidenciando seus benefícios para uma alimentação saudável e funcional. A análise dos compostos fenólicos e antioxidantes reforça a importância desses componentes bioativos no contexto de alimentos naturais, fomentando o desenvolvimento de opções mais nutritivas e vantajosas para a promoção do bem-estar dos consumidores.

CAPÍTULO 7 - DETERMINAÇÃO DA VIDA COMERCIAL DE BEBIDAS ALCOÓLICAS MISTAS DE DOCE DE LEITE SUBMETIDAS A TESTES ACELERADOS enfocou a importância de avaliações rigorosas em novas tecnologias alimentares, focando nas características de bebidas alcoólicas mistas de doce de leite. O estudo investigou as alterações físico-químicas e sensoriais dessas bebidas quando expostas a altas temperaturas, utilizando o Teste Acelerado de Vida-de-Prateleira. As amostras foram armazenadas a 30 e 40°C em ambiente escuro e avaliadas quanto a diversos parâmetros. Os resultados mostraram que as bebidas permaneceram estáveis, sem grandes variações entre as duas temperaturas. Mesmo com diferenças estatísticas, a aceitação sensorial não foi comprometida, indicando a viabilidade e

estabilidade das bebidas. O estudo é de grande relevância para a região de Salinas-MG, oferecendo informações valiosas sobre Bebidas Alcoólicas Mistas, um produto importante na região e no Brasil.

CAPÍTULO 8 - DIGESTIBILIDADE IN VITRO DE FARINHA DE ARROZ PRETO SUBMETIDA A CONDIÇÕES PRÉVIAS DE TRATAMENTOS DE SECAGEM

teve como foco simular o processo de digestão no trato gastrointestinal humano, avaliando como os tratamentos de secagem prévios podem influenciar a disponibilidade de nutrientes na farinha de arroz preto. Assim, foram conduzidos estudos detalhados para entender como os tratamentos de secagem afetam a composição nutricional da farinha de arroz preto e sua digestibilidade in vitro. As análises permitem avaliar a resposta da farinha de arroz preto sob diferentes condições de processamento, auxiliando no desenvolvimento de técnicas mais eficientes para preservar a qualidade nutricional do produto final. Os resultados apresentados neste capítulo contribuem para o avanço do conhecimento científico no campo do processamento de alimentos e para o entendimento de como as condições prévias de secagem podem impactar a digestibilidade dos nutrientes presentes na farinha de arroz preto. Essa pesquisa é relevante para a otimização de processos industriais e pode fornecer informações valiosas para a indústria alimentícia na busca por alimentos mais nutritivos e de melhor qualidade, contribuindo, assim, para a segurança alimentar e nutricional da população.

O CAPÍTULO 9 - ESTUDO DO CONGELAMENTO DE POLPA DE SERIGUELA E SPIRULINA A pesquisa investigou a cinética de congelamento da polpa mista de seriguela e *Spirulina platensis* em diferentes temperaturas (-25, -50 e -75 °C) para determinar sua difusividade térmica efetiva. Utilizou-se um freezer para -25 °C e balcão criogênico para -50 e -75 °C, e a Lei de Fourier foi aplicada para analisar o comportamento cinético. O estudo identificou as três fases do congelamento, sendo mais evidentes a -25 °C. A primeira fase envolveu o resfriamento até o início do congelamento, com tempos variando conforme a temperatura. A temperatura de início de congelamento foi determinada na segunda fase, apresentando valores de -1,7; -1,8 e -1,9 °C para as respectivas temperaturas. Constatou-se que a difusividade da polpa aumenta à medida que a temperatura de congelamento diminui, com coeficientes de determinação acima de 96,80%.

CAPÍTULO 10 - MEL E FRUTAS ALÉM DO ÓBVIO: PRODUÇÃO DE HIDRÔMEIS COMO ATIVIDADE ECONÔMICA NO NORDESTE BRASILEIRO A pesquisa abordou a produção de hidromel, uma bebida milenar resultante da fermentação alcoólica do mel, como uma alternativa para diversificar as atividades do setor agropecuário no Nordeste brasileiro, especialmente na agricultura familiar. O hidromel pode ser produzido artesanalmente e não exige equipamentos avançados. O estudo focou na elaboração de dois estilos de hidromel: tradicional e melomel (com adição de frutas). Após os períodos de fermentação, os teores alcoólicos obtidos estavam em conformidade com a legislação brasileira. O custo de produção por garrafa foi de R\$ 16,93 para o hidromel tradicional e R\$ 16,46 para o melomel de acerola. Dado que o preço de venda no mercado é de no mínimo R\$ 60 por garrafa, a produção de hidromel mostra-se economicamente viável, oferecendo

uma oportunidade para pequenos produtores e apicultores valorizarem seus produtos, como mel e frutas.

Ao longo de toda obra constatamos o esforço dessa equipe, que se empenhou em alcançar seus objetivos fundamentais, garantindo a segurança alimentar e aderindo aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) relacionados à erradicação da fome, promoção da saúde, bem-estar e sustentabilidade, aspectos cruciais para o progresso sustentável na agricultura e produção de alimentos. Reconhecemos, assim como a Organização das Nações Unidas e a FAO, a importância da tecnologia como uma valiosa aliada para promover a segurança alimentar global, estimulando pesquisas e ações inovadoras nessa área.

Destacamos que este livro é uma valiosa fonte de referência para pesquisadores, estudantes e profissionais da área, fornecendo dados sobre as mais recentes e eficientes técnicas de processamento de alimentos. Nossa aspiração é que esta obra inspire novas descobertas e impulsione avanços na área.

É com satisfação que apresento esta nova coleção, fruto de um esforço contínuo ao longo de 2023, cuja distribuição gratuita tem como objetivo contribuir para a disseminação do conhecimento e fomentar a pesquisa e a inovação no campo do processamento de alimentos em âmbito global. Espero que essa obra desempenhe um papel relevante na capacitação dos leitores e possa servir como um catalisador para o desenvolvimento de novas tecnologias e práticas sustentáveis na produção de alimentos, visando garantir a segurança alimentar e o bem-estar da população mundial.

Marcelo Bregagnoli

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

SUMÁRIO

Capítulo 1	3
DOI: 10.53934/202311-01.....	3
INFLUÊNCIA DO COZIMENTO E TRATAMENTO EM MICROONDAS NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS DA FARINHA DE GRÃO DE BICO	3
Capítulo 2	13
DOI: 10.53934/202311-02.....	13
FERMENTAÇÃO DE PIMENTA HABERANO LARANJA (<i>CAPSICUM CHINENSE</i> L): CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CAPACIDADE ANTIOXIADANTE	13
Capítulo 3	24
DOI: 10.53934/202311-03.....	24
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FÍSICA E FUNCIONAIS DE COOKIES ELABORADOS COM FARINHA DE TÂMARA	24
Capítulo 4	37
DOI: 10.53934/202311-04.....	37
COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE NECTARINA SUBMETIDA A ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA	37
Capítulo 5	47
DOI: 10.53934/202311-05.....	47
DESENVOLVIMENTO DE MOLHO DE TOMATES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE PIMENTA HABANERO CHOCOLATE: DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS, ANTOCIANINAS E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE.....	47
Capítulo 6	57
DOI: 10.53934/202311-06.....	57
DESENVOLVIMENTO DE UM SMOOTHIE DE MORANGO COM ACEROLA SUPLEMENTADO COM PROTEÍNA VEGETAL: CARACTERIZAÇÃO FÍSICO- QUÍMICA E DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS E ANTIOXIDANTES	57

Capítulo 7	69
DOI: 10.53934/202311-07.....	69
DETERMINAÇÃO DA VIDA COMERCIAL DE BEBIDAS ALCOÓLICAS MISTAS DE DOCE DE LEITE SUBMETIDAS A TESTES ACELERADOS.....	69
Capítulo 8	79
DOI: 10.53934/202311-08.....	79
DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i> DE FARINHA DE ARROZ PRETO SUBMETIDA A CONDIÇÕES PRÉVIAS DE TRATAMENTOS DE SECAGEM.....	79
Capítulo 9	91
DOI: 10.53934/202311-09.....	91
ESTUDO DO CONGELAMENTO DE POLPA DE SERIGUELA E SPIRULINA.....	91
Capítulo 10.....	102
DOI: 10.53934/202311-10.....	102
MEL E FRUTAS ALÉM DO ÓBVIO: PRODUÇÃO DE HIDRÓMEIS COMO ATIVIDADE ECONÔMICA NO NORDESTE BRASILEIRO	102

Capítulo 1

DOI: 10.53934/202311-01

INFLUÊNCIA DO COZIMENTO E TRATAMENTO EM MICROONDAS NAS PROPRIEDADES NUTRICIONAIS E FUNCIONAIS DA FARINHA DE GRÃO DE BICO

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos ,
Mailson Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória
Régia do Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,
Dauany de Sousa Oliveira 

Autor correspondente: (Corresponding author) e-mail;
virginia.m.alcantara@gmail.com

Introdução

A farinha de grão-de-bico tem se destacado como um ingrediente altamente nutritivo e versátil, ganhando cada vez mais espaço na indústria alimentícia e na culinária doméstica (PHIRI et al., 2023). Sua composição é rica em proteínas, fibras alimentares, vitaminas do complexo B, minerais como ferro, zinco e magnésio, além de compostos bioativos, como flavonoides e fitoesteróis, que conferem diversos benefícios à saúde (SOFI et al., 2023). No entanto, para garantir que todas essas valiosas propriedades sejam preservadas e potencializadas, é fundamental que o processamento da farinha de grão-de-bico seja cuidadosamente planejado (NKURIKIYE et al., 2023).

Nesse contexto, técnicas de processamento como o cozimento tradicional e o tratamento em micro-ondas têm despertado interesse como alternativas viáveis para otimizar as características nutricionais e físicas desse ingrediente (SUN et al., 2023). O cozimento tradicional, por exemplo, é amplamente utilizado em preparações culinárias, mas é importante entender como ele pode afetar os nutrientes e compostos bioativos presentes na farinha de grão-de-bico (XU et al., 2023).

Por outro lado, o tratamento em micro-ondas tem se destacado como uma abordagem inovadora para o processamento de alimentos, oferecendo benefícios

como maior eficiência energética e menor tempo de processamento (ZHENG et al., 2023).

As micro-ondas são raios não ionizantes que envolvem a interação do campo eletromagnético alternado com os constituintes químicos dos alimentos nas frequências de 915 ou 2450 MHz, resultando na geração instantânea de calor liderado pelo atrito molecular (MAHALAXMI et al., 2022).

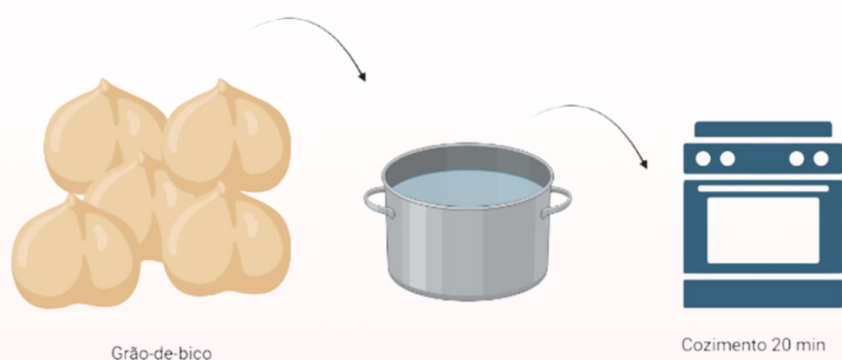
Diante dessas considerações, o objetivo deste estudo é avaliar a influência do cozimento seguido da secagem em micro-ondas nas propriedades nutricionais e funcionais da farinha de grão-de-bico. Os resultados obtidos neste estudo podem fornecer informações valiosas para a indústria alimentícia e para os consumidores interessados em incorporar esse ingrediente em sua dieta diária.

Materiais e Métodos

Cozimento do grão-de-bico

Para o processo de cozimento dos grãos de grão-de-bico, foi estabelecida uma proporção de peso de 1:3, ou seja, para cada parte de grãos, foram adicionadas três partes de água. Em seguida, os grãos foram colocados em uma panela inoxidável e cozidos em um fogão doméstico por um período de 20 minutos. A Figura 1 ilustra resumidamente esta etapa.

Figura 1: Etapa de cozimento dos grão-de-bico.



Secagem dos grãos em microondas

Após o processo de cozimento dos grãos, a etapa subsequente consistiu na secagem dos grãos em microondas. Os grãos previamente cozidos foram cuidadosamente distribuídos em um prato próprio para microondas e submetidos a três níveis de potência diferentes: 540W, 720W e 900W. A secagem foi realizada em intervalos de tempo específicos para cada potência, garantindo que o processo fosse eficiente e controlado. Após o processo de secagem, as amostras foram submetidas ao processo de moagem em moinho de discos, para obtenção da sua forma de pó.

A Figura 2 ilustra resumidamente esta etapa.

Figura 2: Etapa de secagem e moagem dos grãos cozidos



Caracterizações das farinhas

O teor de umidade das farinhas foi determinado seguindo o método da AOAC (2016). Resumidamente, 3 g de cada amostra foi seca em estufa de ar quente a 130 °C por 4 h, resfriada em dessecador e pesada. A diferença de massa, foi expressa em percentual. Para o teor de cinzas, 1 g de cada amostra foi carregada separadamente em um cadinho e colocada em mufla a 550 °C por 5 h até que o resíduo estivesse livre de carbono. O peso restante das cinzas é usado para calcular o teor de cinzas nas amostras (AOAC, 2016).

Na determinação do teor de proteínas, uma amostra de 2g de cada farinha foi transferida para um balão de digestão com 3g de mistura catalisadora (CuSo₄:Na₂SO₄ em 1:5) e 20 mL de ácido sulfúrico concentrado. A mistura foi digerida até se obter o líquido transparente. Em seguida, o volume digerido foi

completado para 20 mL com água destilada. Para realizar o branco, a mistura do catalisador foi misturada com ácido sulfúrico concentrado sem amostra. A alíquota do material digerido foi destilada com 40% de NaOH e 4% de ácido bórico e a amônia liberada foi coletada em um balão cônico de 20 mL e titulada com HCL 1% com 2-3 gotas de indicador (vermelho de metila). Um branco foi similarmente destilado e titulado. O teor de nitrogênio na amostra foi multiplicado por um fator de 6,25 para converter nitrogênio em proteína (KO et al., 2017).

A capacidade absorção de água (CAA) foram medidos usando o método descrito por Liu et al. (2021). Para isso, 2 g de cada farinha foram misturadas com 25 g de água deionizada em um tubo de ensaio de centrífuga pré-pesado, vigorosamente misturadas usando um agitador Vortex para fazer uma suspensão, mantidas por 2h em temperatura ambiente, seguidas de centrifugação a 1590 g por 15 min usando uma centrífuga.

A capacidade de absorção de óleo (CAO) foi determinada tomando 1 g de amostra em 10 mL de óleo de girassol em um tubo de centrífuga de 50 mL pré-pesado (NAVYASHREE et al., 2022). Foi agitado em vórtex por 2 minutos e depois centrifugado a 2000 g por 10 minutos. O tubo da centrífuga com o precipitado foi novamente pesado após o vazamento do excesso de óleo.

Análise estatística

As determinações foram realizadas em triplicata e os resultados foram relatados como média $\pm$ desvio padrão. ANOVA One-Way com intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$) foi conduzido para avaliar possíveis diferenças entre as diferentes potências do microondas durante a secagem usando o programa estatístico Statistic 8.0.

Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta os resultados do teor de umidade, cinzas e proteínas das farinhas de grão-de-bico submetidas ao processo de secagem em micro-ondas em diferentes níveis de potência (540W, 720W e 900W). Os valores obtidos demonstram que o processo de secagem em micro-ondas influenciou significativamente as propriedades físicas das farinhas.

Tabela 1: Teor de umidade, cinzas e proteínas das farinhas de grão-de-bico submetidas ao processo de secagem em micro-ondas.

Condições	Umidade (%)	Cinzas (%)	Proteínas (%)
540 W	5,56 ± 0,15a	2,01 ± 0,05x	15,62 ± 0,21b
720 W	4,89 ± 0,07b	2,47 ± 0,10b	16,06 ± 0,14a
900 W	4,25 ± 0,13c	2,92 ± 0,11a	14,53 ± 0,09c

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as farinhas produzidas.

Os teores de umidade das farinhas de grão-de-bico obtidos neste estudo apresentaram valores inferiores a 6%, o que indica uma eficiente remoção de água durante o processo de secagem em micro-ondas. Notavelmente, à medida que a potência do micro-ondas foi aumentada de 540W para 900W, os valores de umidade foram reduzidos de 5,56% para 4,25%. Essa redução progressiva da umidade está diretamente relacionada com a maior eficiência energética proporcionada pelo aumento da potência das micro-ondas. A justificativa para esse comportamento está na capacidade das micro-ondas de aquecer rapidamente as moléculas de água presentes na farinha, promovendo a sua evaporação (ZHENG et al., 2023). Correia et al. (2020), obtiveram teor de umidade de 8,21% para farinha extrusada de sorgo do genótipo BRS 305.

Os teores de cinzas das farinhas de grão-de-bico apresentaram um aumento significativo à medida que o teor de umidade foi reduzido durante o processo de secagem em micro-ondas ($p < 0.05$). Os valores obtidos variaram na faixa de 2,01% a 2,92% à medida que a potência das micro-ondas aumentou de 540W para 900W, respectivamente. Essa relação entre a diminuição do teor de umidade e o aumento dos teores de cinzas pode ser explicada pela concentração dos componentes sólidos presentes na farinha, como minerais e sais, que se tornam mais concentrados à medida que a água é removida (SANTOS et al., 2023). Fernandes et al. (2022) ao avaliarem a composição nutricional de farinha de grão-de-bico variedade BRS cristalino obtida por secagem natural, obtiveram teor de cinzas de 2,66%.

Os teores de proteínas das farinhas de grão-de-bico não apresentaram uma correlação significativa com a potência aplicada durante o processo de secagem em micro-ondas, conforme observado na Tabela 1. Os valores variaram significativamente entre 14,53% e 16,06%, sendo o maior valor obtido para a farinha submetida à secagem na condição de 720W de potência. Essa aparente falta de influência da potência nas concentrações de proteínas pode ser atribuída às características próprias do grão-de-bico e de sua farinha, que possuem uma composição nutricional relativamente estável e resistente a variações no processo de secagem (CHENG E LANGRISH, 2023). Além disso, a potência utilizada no processo de secagem em micro-ondas pode não ter sido suficientemente alta para causar uma alteração significativa nas proteínas presentes na farinha. Vale ressaltar que o grão-de-bico é naturalmente rico em proteínas, e sua farinha é uma fonte importante desse nutriente, sendo amplamente utilizada em produtos alimentícios para enriquecimento nutricional (KISHOR et al., 2017).

A Tabela 2 apresenta os resultados da capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) das farinhas de grão-de-bico submetidas ao processo de secagem em micro-ondas em diferentes potências (540W, 720W e 900W).

Tabela 2: Capacidade de absorção de água (CAA) e capacidade de absorção de óleo (CAO) das farinhas de grão-de-bico submetidas ao processo de secagem em micro-ondas.

Condições	CAA (%)	CAO (%)
540 W	3,20 ± 0,18c	1,36 ± 0,32c
720 W	6,96 ± 0,40b	2,11 ± 0,19b
900 W	8,54 ± 0,23a	3,02 ± 0,11a

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as farinhas produzidas.

Observou-se que a CAA das farinhas aumentou significativamente com o aumento da potência de secagem, variando de 3,20% a 8,54%, respectivamente, para as potências de 540W e 900W. Esse aumento na CAA pode ser atribuído à diminuição do teor de umidade das farinhas durante o processo de secagem em

micro-ondas, o que resulta em maior disponibilidade de sítios para a absorção de água (DAMNDJA et al., 2023). Valores superiores ao do presente estudo foi relatada por Qadir e Wani (2023) ao determinar a CAA em farinhas elaboradas com diferentes variedades de arroz, no qual, obtiveram valores na faixa de 18,30 a 22,62%.

Os resultados da capacidade de absorção de óleo (CAO), apresentados na Tabela 2, corroboraram com o comportamento observado para a capacidade de absorção de água (CAA). Verificou-se que os valores de CAO também aumentaram com o aumento da potência de secagem, variando de 1,36% a 3,02%. Esse aumento na CAO pode ser explicado pela redução do teor de umidade das farinhas durante o processo de secagem em micro-ondas, o que proporciona maior disponibilidade de sítios para a absorção de óleo. Além disso, a presença de componentes lipofílicos na farinha de grão-de-bico, como lipídeos e proteínas, também pode contribuir para a sua capacidade de absorção de óleo (Ma et al., 2022). Esses resultados indicam que o processo de secagem em micro-ondas pode influenciar de forma significativa as propriedades funcionais das farinhas de grão-de-bico, tornando-as potenciais ingredientes para formulações de alimentos que requerem capacidade de absorção de água e óleo.

Considerações finais

Em conclusão, o presente estudo investigou o efeito do processo de secagem em micro-ondas nas propriedades nutricionais e funcionais da farinha de grão-de-bico. Os resultados demonstraram que o aumento da potência de secagem resultou em uma redução significativa no teor de umidade das farinhas, enquanto os teores de cinzas e proteínas aumentaram com a diminuição do teor de umidade. Além disso, tanto a capacidade de absorção de água (CAA) quanto a capacidade de absorção de óleo (CAO) foram influenciadas positivamente pelo processo de secagem em micro-ondas, com valores aumentando à medida que a potência de secagem aumentou. Esses achados sugerem que o processo de secagem em micro-ondas pode ser uma técnica eficiente para produção de farinhas de grão-de-bico com propriedades funcionais desejáveis para aplicação na indústria alimentícia.

Referências

Cheng, S., & Langrish, T. A. (2023). Fluidized bed drying of chickpeas: Developing a new drying schedule to reduce protein denaturation and remove trypsin inhibitors. *Journal of Food Engineering*, 351, 111515.

Correia, V. T. V., D'Angelis, D. F., Rodrigues, C. G., Amante, P. R., Queiroz, V. A. V., Ferreira, A. A., & Fante, C. A. (2020). Caracterização físico-química e tecnológica de farinha extrusada de sorgo do genótipo BRS 305. *Research, Society and Development*, 9(8), e115984963.

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

Fernandes, T. C. R., Camargos, L. F. D., Camilo, P. A., Jesus, F. G. D., & Siqueira, A. P. S. (2022). Caracterização tecnológica da farinha de grão-de-bico variedade BRS cristalino. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25.

Kishor, K., David, J., Tiwari, S., Singh, A., & Rai, B. S. (2017). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum*) milk. *International Journal of Chemical Studies*, 5(4), 1941-1944.

Ko, T. L., Than, S. S., & Oo, Z. Z. (2017). Isolation of protein from defatted lentil flour. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(6), 238-244.

Liu, S. X., Chen, D., Plumier, B., Berhow, M., Xu, J., & Byars, J. A. (2021). Impact of particle size fractions on composition, antioxidant activities, and functional properties of soybean hulls. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1547-1562.

Ma, H., Liu, M., Liang, Y., Zheng, X., Sun, L. E., Dang, W., ... & Liu, C. (2022). Research progress on properties of pre-gelatinized starch and its application in wheat flour products. *Grain & Oil Science and Technology*, 5(2), 87-97.

Mahalaxmi, S., Himashree, P., Malini, B., & Sunil, C. K. (2022). Effect of microwave treatment on the structural and functional properties of proteins in lentil flour. *Food Chemistry Advances*, 1, 100147.

Navyashree, N., Sengar, A. S., Sunil, C. K., & Venkatachalapathy, N. (2022). White Finger Millet (KMR-340): A comparative study to determine the effect of processing and their characterisation. *Food Chemistry*, 374, 131665.

Nkurikiye, E., Pulivarthi, M. K., Bhatt, A., Siliveru, K., & Li, Y. (2023). Bulk and flow characteristics of pulse flours: A comparative study of yellow pea, lentil, and chickpea flours of varying particle sizes. *Journal of Food Engineering*, 111647.

Phiri, C. K., Njira, K., & Chitedze, G. (2023). An insight of chickpea production potential, utilization and their challenges among smallholder farmers in Malawi—A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 100713.

Qadir, N., & Wani, I. A. (2023). Functional properties, antioxidant activity and in-vitro digestibility characteristics of brown and polished rice flours of Indian temperate region. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(1), 43-57.

Santos, N. C., Almeida, R. L. J., de Andrade, E. W. V., de Fátima Dantas de Medeiros, M., & da Silva Pedrini, M. R. (2023). Effects of drying conditions and ethanol pretreatment on the techno-functional and morpho-structural properties of avocado powder produced by foam-mat drying. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-13.

Sofi, S. A., Rafiq, S., Singh, J., Mir, S. A., Sharma, S., Bakshi, P., ... & Dar, B. N. (2023). Impact of germination on structural, physicochemical, techno-functional, and

digestion properties of desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour. Food Chemistry, 405, 135011.

Sun, Z., Lyu, Q., Zhuang, K., Chen, L., Wang, G., Wang, Y., ... & Ding, W. (2023). Impact of different preparation methods on the properties of brown rice flour and the cooking stability of brown rice noodles and the underlying mechanism: Microstructure, starch-protein distribution, moisture migration. LWT, 181, 114697.

Xu, J., Selling, G. W., & Liu, S. X. (2023). Effect of jet-cooking on rheological properties of navy bean flour suspensions. Food Chemistry Advances, 2, 100316.

Zeng, S., Wang, B., Zhao, D., & Lv, W. (2023). Microwave infrared vibrating bed drying of ginger: Drying qualities, microstructure and browning mechanism. Food Chemistry, 424, 136340.

Capítulo 2

DOI: 10.53934/202311-02

FERMENTAÇÃO DE PIMENTA HABERANO LARANJA (*CAPSICUM CHINENSE* L): CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos ,

Mailson Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória Régia do Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,

Dauany de Sousa Oliveira 

Introdução

A busca por alimentos funcionais e ingredientes naturais com propriedades benéficas à saúde tem ganhado crescente atenção nos últimos anos (Swallah et al., 2023). Nesse contexto, as pimentas habanero (*Capsicum chinense* L) têm se destacado devido às suas características únicas e potencial valor nutricional. Além de conferirem sabor e pungência aos alimentos, essas pimentas também têm sido associadas a uma série de benefícios à saúde, graças à presença de compostos bioativos, como os antioxidantes (Aryee et al., 2022).

A pimenta Habanero é uma planta herbácea ou arbustiva, ramificada, atingindo um porte de até 2,5 metros de altura. Os espécimes imaturos de pimentas habanero são verdes, mas sua cor varia na maturidade. As cores mais comuns são o laranja (semi-maduro) e o vermelho quando maduro. Segundo pesquisas científicas, as origens da pimenta habanero encontram-se na zona que se estende do sul do Brasil ao norte da Argentina, passando pelo leste da Bolívia e oeste do Paraguai (González-Toxqui et al., 2020).

A fermentação é um processo tradicionalmente utilizado para preservar alimentos e melhorar suas características sensoriais e nutricionais. Alimentos

fermentados são alimentos nutricionalmente e funcionalmente ricos produzidos pela ação microbiana associada a bactérias, leveduras, fungos miceliais e suas enzimas (Nithya et al., 2023). No caso das pimentas habanero laranja, a fermentação pode não apenas prolongar sua vida útil, mas também alterar sua composição química, levando a mudanças na concentração de compostos antioxidantes e outros metabólitos (Aryee et al., 2022).

Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar o efeito da concentração de sal nas características físico-química e antioxidantes das pimentas habanero laranja submetidas ao processo de fermentação, incluindo a determinação de parâmetros como pH, acidez titulável. Além disso, busca-se avaliar a capacidade antioxidante dessas pimentas fermentadas, por meio de ensaios como ABTS e DPPH. A compreensão dos efeitos da fermentação na composição e propriedades das pimentas habanero laranja pode contribuir para sua utilização mais ampla na indústria de alimentos e nutraceuticos, oferecendo produtos com valor agregado e benefícios à saúde.

Materiais e Métodos

Preparo das amostras

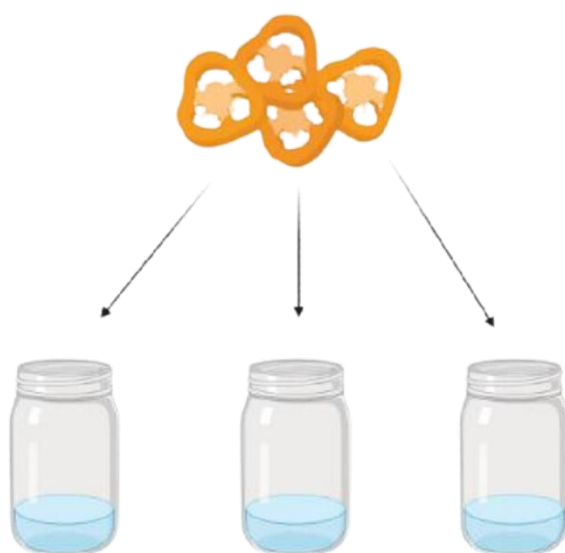
Inicialmente, as pimentas habanero laranja foram selecionadas e higienizadas para eliminar impurezas e com auxílio de uma faca seus talos foram removidos. Após higienização, as pimentas foram cortas em finas fatias com dimensões não definidas (Figura 1).

Figura 1. Pimenta habareno (*Capsicum chinense* L)



Foram utilizadas porções de aproximadamente 100g de pimenta, as quais foram acondicionadas em frascos de vidro. Em cada frasco, foram adicionados 4, 6 e 8% de sal, juntamente com 1,5 L de água, e agitados para homogeneização (Figura 2).

Figura 2. Esquema ilustrativo das formulações com 4, 6 e 8% de sal



Os frascos foram hermeticamente fechados com suas respectivas tampas e selados com fita, sendo então submetidos a um processo de fermentação natural, sem a adição de qualquer cultura iniciadora. Esse período de fermentação ocorreu ao longo de 4 semanas, em condições de temperatura ambiente.

Caracterização das formulações

Determinação de pH e acidez titulável

O valor do pH foi medido diretamente usando um medidor de pH à 20 °C após uma calibração usando as soluções tampão padrão com valores de pH de 4,01, 6,86 e 9,18, respectivamente. Para estimar a acidez titulável, o método de titulação de NaOH 0,1 N. Para isso, 10 g de amostras de pimenta em fermentação e trazendo o pH para 8,2. Uma gota do indicador fenolftaleína foi adicionada à solução e titulada com NaOH 0,1 N até atingir a coloração rosa (AOAC, 2016).

Determinação de compostos fenólicos totais

Método de Folin-Ciocalteu descrito por Chang et al. (2006) foi usado para determinar o teor de compostos fenólicos totais. Para isso, um extrato aquoso foi preparado na proporção 1:10 (fermentado:água). Uma alíquota de 125 µL do extrato foi misturada com 500 µL de água destilada e misturada com 125 µL do reagente Folin ciocalteu por 6 min. Em seguida, foram adicionados 1,25 mL de Na_2CO_3 7% e 1 mL de água destilada e finalmente incubados à temperatura ambiente no escuro por 30 min. A absorbância foi medida a 760 nm usando um espectrofotômetro UV/VIS e os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG)/100g de amostra usando uma curva padrão.

Determinação da atividade antioxidante

Dois diferentes métodos (ABTS e DPPH) foram usados para determinar a atividade antioxidante de acordo com o protocolo descrito por Thaipong et al. (2006). O mesmo extrato descrito na análise de compostos fenólicos totais usado. Para todos os métodos de determinação de antioxidantes, os resultados foram expressos em $\mu\text{Mol Trolox/g}$ de amostra a usando uma curva padrão de Trolox (0–200 mg/l).

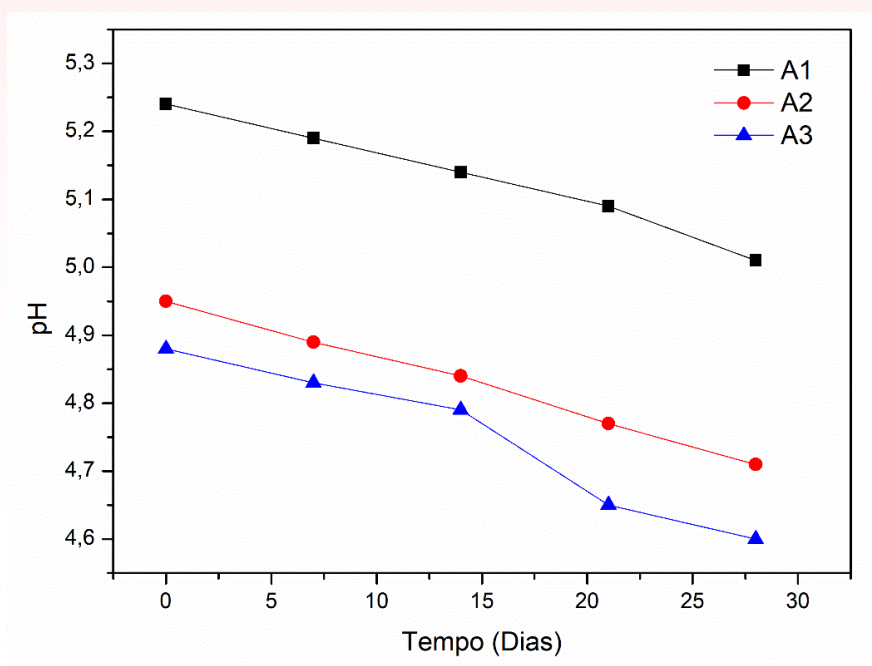
Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) no nível de 0,05 ($p < 0,05$) foi realizada para determinar a significância estatística entre as amostras por meio do software Statistic 8.0.

Resultados e Discussões

A Figura 1 ilustra a variação dos valores de pH ao longo do período de fermentação das pimentas em diferentes concentrações de sal. A análise da variação do pH ao longo do tempo fornece insights importantes sobre a dinâmica da fermentação e seu impacto nas características físico-químicas das pimentas.

Figura 3. Variação dos valores de pH ao longo do período de fermentação das pimentas em diferentes concentrações de sal.



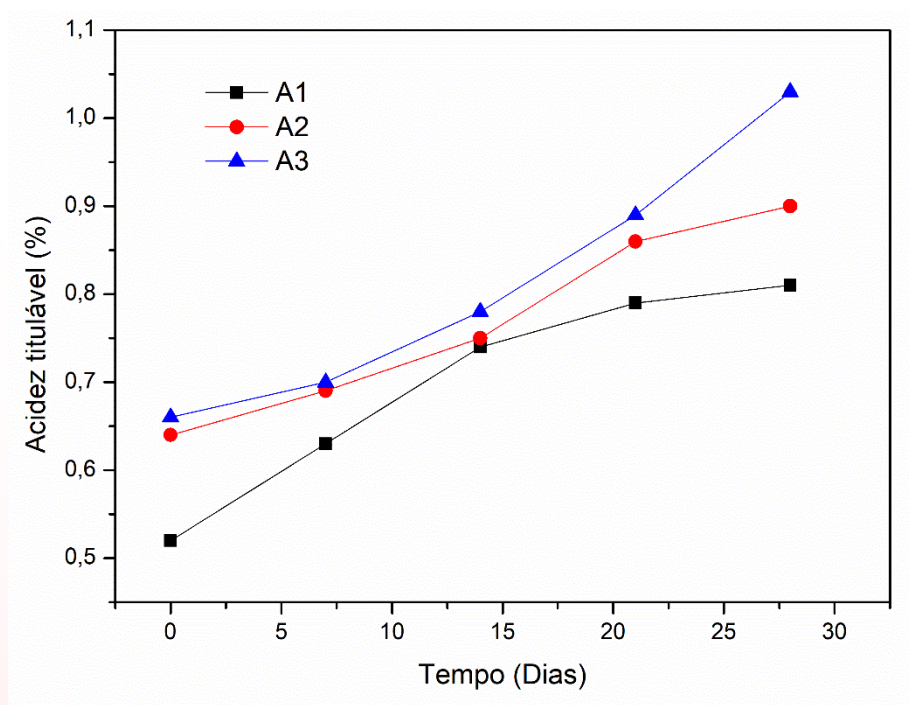
Durante a avaliação do pH das amostras ao longo de 28 dias de fermentação das pimentas em diferentes concentrações de sal, observou-se um decréscimo nos valores de pH. Na formulação contendo 4% de sal, os valores de pH diminuíram de 5,24 para 5,01. Para a formulação com 6% de sal, ocorreu uma redução dos valores de pH de 4,95 para 4,71. Já na formulação com 8% de sal, os valores de pH decresceram de 4,88 para 4,60 ao longo do período de 28 dias de armazenamento.

Essas reduções observadas nos valores de pH ao longo do período de fermentação podem ser atribuídas ao processo de acidificação que ocorre durante a fermentação das pimentas. O ácido láctico, produzido como subproduto do metabolismo microbiano, é um dos principais responsáveis por essa acidificação. Conforme as bactérias lácticas e outros microorganismos presentes na fermentação metabolizam os açúcares presentes nas pimentas, o ácido láctico é produzido, levando a uma diminuição gradual do pH (Delgado-Ospina et al., 2020). A concentração de sal nas formulações também pode influenciar essa acidificação,

visto que as bactérias lácticas são mais eficientes na produção de ácido lático em ambientes com teores moderados de sal (Liu et al., 2023).

A Figura 4 apresenta a variação dos valores de acidez titulável ao longo do período de fermentação das pimentas em diferentes concentrações de sal. Durante o período de 28 dias de fermentação, foi notado um aumento significativo nos valores de acidez das amostras. Na formulação com 4% de sal, os valores de acidez aumentaram de 0,52% para 0,81%. Na formulação com 6% de sal, esse valor aumentou de 0,64% para 0,90%, e na formulação com 8% de sal, a acidez subiu de 0,66% para 1,03%.

Figura 4. Variação dos valores de acidez titulável ao longo do período de fermentação das pimentas em diferentes concentrações de sal.



Esses resultados demonstram um comportamento inverso em relação aos valores de pH, porém, estão em acordo com o processo de fermentação. Esse aumento na acidez é um indicativo da conversão dos açúcares presentes nas pimentas em ácidos, contribuindo para o desenvolvimento do perfil sensorial característico das pimentas fermentadas (Bely et al., 2023).

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise dos compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante nas amostras de pimentas fermentadas em diferentes concentrações de sal. Esses parâmetros são indicativos importantes da presença de componentes bioativos com potencial benefício à saúde.

Tabela 1. Compostos fenólicos totais e atividade antioxidante das amostras de pimentas fermentadas em diferentes concentrações de sal.

Amostras	Compostos	ABTS	DPPH
	fenólicos (mg EAG/100g)	(μ Mol Trolox/g)	(μ Mol Trolox/g)
A1	25,32 $\pm$ 1,25a	11,41 $\pm$ 0,82a	9,75 $\pm$ 0,72a
A2	12,86 $\pm$ 0,98b	5,60 $\pm$ 0,44b	3,58 $\pm$ 0,60b
A3	8,72 $\pm$ 0,75c	2,18 $\pm$ 0,52c	1,42 $\pm$ 0,26c

Nota: A1: formulação com 4% de sal; A2: formulação com 6% de sal; A3: formulação com 8% de sal. Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística entre as formulações.

Os teores de compostos fenólicos variaram de 8,72 a 25,32 mg EAG/100g e demonstraram significativa diferença estatística entre as diferentes concentrações

de sal ($p < 0,05$). Notavelmente, uma redução nos valores foi observada à medida que a concentração de sal aumentou de 4% para 8%. Uma explicação plausível para essa diminuição reside na influência do sal sobre a atividade enzimática e metabólica das pimentas durante o processo de fermentação. Além disso, o aumento na concentração de sal pode impactar a estrutura celular das pimentas, ocasionando alterações nas vias metabólicas e na composição química celular. Essas alterações podem afetar a disponibilidade de precursores e substratos essenciais para a síntese de compostos fenólicos.

Os resultados da atividade antioxidante revelaram variações significativas, com valores oscilando de 2,18 a 11,41 $\mu\text{mol Trolox/g}$ para o ensaio ABTS e de 1,42 a 9,75 $\mu\text{mol Trolox/g}$ para o ensaio DPPH. É notável que os valores mais elevados de atividade antioxidante foram observados nas formulações com concentrações mais baixas de sal (A1) indicando uma possível relação inversa entre a concentração de sal e a atividade antioxidante. Esse padrão pode ser atribuído à capacidade antioxidante intrínseca dos compostos fenólicos presentes nas pimentas, os quais desempenham um papel crucial na neutralização de radicais livres e outros agentes oxidantes.

Considerações finais

Em suma, este estudo investigou o efeito da concentração de sal na fermentação de pimentas, analisando suas alterações físico-químicas e atividade antioxidante. Os resultados indicaram um processo de acidificação das amostras ao longo do período de fermentação, acompanhado por um aumento na acidez titulável. Esse comportamento inverso em relação aos valores de pH evidencia a conversão dos açúcares em ácidos durante a fermentação. Além disso, a análise dos

compostos fenólicos totais e da atividade antioxidante revelou uma relação entre a concentração de sal e esses parâmetros, com uma diminuição nos valores à medida que a concentração de sal aumentou. Notavelmente, as formulações com concentrações mais baixas de sal exibiram maior atividade antioxidante, indicando o potencial dessas pimentas fermentadas como fonte de antioxidantes naturais.

Referências

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

Aryee, A. N., Owusu-Kwarteng, J., Senwo, Z., & Alvarez, M. N. (2022). Characterizing fermented habanero pepper (*Capsicum chinense* L). *Food Chemistry Advances*, 1, 100137.

Bely, M., Rinaldi, A., & Dubourdieu, D. (2003). Influence of assimilable nitrogen on volatile acidity production by *Saccharomyces cerevisiae* during high sugar fermentation. *Journal of bioscience and bioengineering*, 96(6), 507-512.

Chang, C. H., Lin, H. Y., Chang, C. Y., & Liu, Y. C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of food engineering*, 77(3), 478-485.

Delgado-Ospina, J., Di Mattia, C. D., Paparella, A., Mastrocola, D., Martuscelli, M., & Chaves-Lopez, C. (2020). Effect of fermentation, drying and roasting on biogenic

amines and other biocompounds in Colombian Criollo cocoa beans and shells. *Foods*, 9(4), 520.

González-Toxqui, C., González-Ángeles, Á., López-Avitia, R., & González-Balvaneda, D. (2020). Drying habanero pepper (*Capsicum chinense*) by modified freeze drying process. *Foods*, 9(4), 437.

Liu, H., Yang, S., Liu, J., Lu, J., & Wu, D. (2023). Effect of salt concentration on Chinese soy sauce fermentation and characteristics. *Food Bioscience*, 102825.

Nithya, A., Misra, S., Panigrahi, C., Dalbhagat, C. G., & Mishra, H. N. (2023). Probiotic potential of fermented foods and their role in non-communicable diseases management: An understanding through recent clinical evidences. *Food Chemistry Advances*, 3, 100381.

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

**CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, FÍSICA E FUNCIONAIS DE
COOKIES ELABORADOS COM FARINHA DE TÂMARA**

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos ,

**Mailson Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória
Régia do Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,**

Dauany de Sousa Oliveira 

Introdução

Nos dias de hoje, a indústria alimentícia enfrenta um desafio duplo: atender às crescentes demandas por produtos saborosos e convenientes, ao mesmo tempo em que responde às preocupações dos consumidores em relação à saúde e nutrição (Mármol et al., 2021). Nesse cenário, a busca por ingredientes naturais, funcionais e ricos em nutrientes tem se tornado uma prioridade na formulação de produtos alimentícios inovadores e mais saudáveis (Mas et al., 2022). Os cookies são os produtos de panificação mais populares entre a maioria dos consumidores, incluindo crianças e idosos. A popularidade do biscoito se deve em grande parte à categoria pronta para consumo, conveniência e prazo de validade relativamente mais longo (Yang et al., 2022).

As tâmaras, frutas exóticas cultivadas em palmeiras da família Arecaceae, emergem como uma promissora fonte de nutrientes e compostos bioativos. Com sua riqueza em fibras, vitaminas, minerais e antioxidantes, as tâmaras têm atraído atenção como um ingrediente potencial para a criação de alimentos que

proporcionem não apenas prazer gustativo, mas também benefícios à saúde (Osman et al., 20223).

Dessa forma, biscoitos produzidos com diferentes formulações são aceitos e consumidos por pessoas de qualquer idade, podendo ser produzidos em grandes quantidades e amplamente distribuídos devido ao seu alto prazo de validade (Viana et al., 2023). Portanto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver cookies com diferentes concentrações de farinha liofilizada de tâmaras e avaliar a sua influência nas características físico-químicas, físicas e funcionais dos cookies produzidos.

Materiais e Métodos

Obtenção da farinha de tâmara

A obtenção da farinha de tâmara foi realizada por meio do processo de liofilização. Inicialmente, as tâmaras frescas (Figura 1) foram selecionadas, lavadas e descaroçadas para remover seus caroços. Em seguida, as polpas das tâmaras foram trituradas para obter uma pasta homogênea. Essa pasta foi espalhada uniformemente em bandejas de liofilização e submetida a um processo de congelamento (-18 °C) seguido da remoção do solvente por sublimação a vácuo (-48 °C/72 h). A farinha de tâmara liofilizada obtida foi armazenada em condições adequadas para preservar sua qualidade até ser utilizada nas formulações dos cookies.

Figura 1. Tâmaras (*Phoenix dactylifera*)



Preparação dos cookies

A preparação dos cookies com farinha de tâmara foi conduzida seguindo um procedimento padronizado. A farinha de tâmara liofilizada foi incorporada à formulação da massa de cookie, substituindo parcialmente a farinha de trigo convencional. A quantidade de farinha de tâmara adicionada foi cuidadosamente ajustada para obter diferentes níveis de enriquecimento nutricional e funcional nos cookies (5, 10, 15 e 20%). Os ingredientes secos, incluindo a farinha de tâmara, farinha de trigo, farinha de linhaça, açúcar, fermento em pó e sal, foram primeiramente combinados e peneirados para garantir uma mistura homogênea. Em seguida, os ingredientes líquidos, como ovos e óleo vegetal, foram incorporados à mistura seca, formando uma massa de cookie. A massa foi moldada em pequenas porções e disposta em uma assadeira. Os cookies foram assados em forno pré-aquecido à 180 °C por 20 min. Após o resfriamento, os cookies foram embalados hermeticamente em embalagens laminadas.

Na Figura 2, estão apresentados os cookies produzidos com as diferentes concentrações de farinha de tâmara liofilizada.

Figura 2. Cookies produzidos com diferentes níveis da farinha de tâmara liofilizada.



Caracterização das formulações

As cinco formulações de cookies produzidos foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros.

Teor de umidade e atividade de água

O teor de umidade dos cookies foi determinado com base na perda de massa durante a secagem a uma temperatura de 105 °C até peso constante (AOAC, 2016). A atividade de água foi medida utilizando um medidor de atividade de água de acordo com as instruções do fabricante em temperatura ambiente (25 °C).

Firmeza

A firmeza dos cookies foi avaliada utilizando um texturômetro TAXT.plus, com o auxílio do software Exponent Stable Micro Systems. Os cookies foram escolhidos de maneira aleatória e posicionados horizontalmente sobre uma plataforma, onde uma lâmina de aço retangular com ponta arredondada (Upperblade) de dimensões 9 x 3 cm foi aplicada para cortar os cookies ao meio. A força exercida durante a compressão foi medida para avaliar a firmeza. Os resultados foram expressos em Newtons (N).

Volume específico

O volume específico foi calculado em triplicata pela relação entre o volume aparente (método de deslocamento de painço) e peso dos cookies após o forneamento, conforme Moraes et al. (2010).

Compostos fenólicos totais

O método de Folin-Ciocalteu descrito por Chang et al. (2006) foi usado para determinar o teor de compostos fenólicos totais. A absorbância foi medida a 760 nm usando um espectrofotômetro UV/VIS e os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG)/100g de amostra usando uma curva padrão

Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) no nível de 0,05 ($p < 0,05$) foi realizada para determinar a significância estatística entre as amostras por meio do software Statistic 8.0.

Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta os resultados do teor de umidade e atividade de água dos cookies elaborados com diferentes concentrações de farinha de tâmara liofilizada.

Tabela 1. Teor de umidade e atividade de água dos cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de tâmara liofilizada.

Formulações	Teor de umidade (%)	Atividade de água
0%	3,12 ± 0,01c	0,190 ± 0,03d
5%	3,29 ± 0,05b	0,192 ± 0,00d
10%	3,40 ± 0,00a	0,200 ± 0,02c
15%	3,45 ± 0,12a	0,204 ± 0,01b
20%	3,62 ± 0,07a	0,215 ± 0,00a

Nota: 0% é a formulação controle sem adição de farinha liofilizada de tâmara; Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística entre as formulações.

Os teores de umidade variaram entre 3,12% e 3,62%, demonstrando uma relação direta com a concentração de farinha de tâmara empregada na elaboração dos cookies. Notavelmente, a formulação contendo 20% de farinha de tâmara exibiu o teor de umidade mais elevado (3,62%). As formulações com 10%, 15% e

20% de farinha de tâmara não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao teor de umidade ($p>0,05$). Isso sugere que a adição de diferentes concentrações de farinha de tâmara não influenciou de maneira significativa a umidade final dos produtos. José et al. (2020) obtiveram teor de umidade próximo ao obtido nesse estudo, para cookies elaborados com diferentes concentrações de bagaço de abacaxi.

De maneira similar, os valores de atividade de água também apresentaram variações correspondentes às diferentes concentrações de farinha de tâmara utilizadas. Esses valores variaram de 0,190 (na formulação sem farinha de tâmara) a 0,215 (na formulação com 20% de farinha de tâmara). A análise estatística revelou que a formulação com 5% de farinha de tâmara não apresentou diferença significativa em relação à formulação controle ($p>0,05$).

Essas medições são de grande relevância para a compreensão das características de umidade e disponibilidade de água nos cookies, contribuindo de forma significativa para a avaliação do impacto da adição de farinha de tâmara liofilizada na qualidade dos produtos finais. Clerice et al. (2013), obtiveram atividade de água de 0,21 para cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim.

A Tabela 2 apresenta os resultados da análise de firmeza e volume específico dos cookies elaborados com diferentes concentrações de farinha de tâmara liofilizada. A textura dos alimentos é uma das principais propriedades que os consumidores avaliam ao determinar a qualidade e aceitabilidade dos alimentos (Gan et al., 2023).

Tabela 2. Firmeza e volume específico dos cookies elaborados com diferentes concentrações da farinha de tâmara liofilizada.

Formulações	Firmeza (N)	Volume específico (mg/g)
0%	118,63 ± 0,52a	1,58 ± 0,01a
5%	116,08 ± 0,41b	1,41 ± 0,02b
10%	115,74 ± 0,37b	1,33 ± 0,02c
15%	113,82 ± 0,88c	1,25 ± 0,00d
20%	110,55 ± 0,29d	1,09 ± 0,03e

Nota: 0% é a formulação controle sem adição de farinha liofilizada de tâmara; Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística entre as formulações.

A análise da firmeza dos cookies revelou uma tendência de redução nos valores à medida que se aumentou a concentração da farinha de tâmara. Os resultados demonstraram uma variação nos valores de 110,55 N (Formulação com 0%) a 118,63 N (Formulação com 20%). É importante notar que as formulações com 5 e 10% exibiram valores de firmeza de 116,08 N e 115,74 N, respectivamente, os quais não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$). Esse padrão pode ser justificado pela interação da farinha

de tâmara com a matriz dos cookies, que influencia diretamente na coesão estrutural e na textura final dos produtos. A presença da farinha de tâmara liofilizada pode ter contribuído para um relaxamento na rede de glúten, resultando em cookies com textura menos firme. Valores inferiores ao do presente estudo foram observados por Gan et al. (2023) para cookies elaborados com pó do resíduo de *Sargassum fusiforme*.

A análise dos valores de volume específico, conforme evidenciado na Tabela 2, reflete claramente a influência significativa ($p < 0,05$) da concentração de farinha de tâmara utilizada. Os resultados revelaram uma variação no parâmetro de 1,09 mg/g a 1,58 mg/g, indicando uma tendência de redução nos valores à medida que a concentração de farinha de tâmara aumentou, chegando a até 20%. Essa correlação pode ser justificada pela interação complexa entre a farinha de tâmara e a estrutura da massa dos cookies. A incorporação da farinha de tâmara, devido às suas propriedades físicas e composição, pode ter influenciado diretamente a formação da estrutura da massa e, consequentemente, a retenção de gases durante a cocção. Essas alterações na estrutura interna podem ter contribuído para a redução no volume específico dos cookies, influenciando assim a textura e a firmeza final dos produtos (Gu et al., 2023).

A Tabela 3 apresenta os valores médios de compostos fenólicos totais encontrados nos cookies elaborados com diferentes concentrações de farinha de tâmara liofilizada. Observa-se uma ampla variação nos teores de compostos fenólicos totais, com valores que abrangem uma faixa de 5,19 a 53,14 mg EAG/100g. É importante ressaltar que essa variação é estatisticamente significativa ($p < 0,05$), indicando que a concentração de farinha de tâmara na

formulação dos cookies exerce um impacto substancial nos teores de compostos fenólicos totais.

Tabela 3. Valores médios de compostos fenólicos totais dos cookies produzidos com diferentes concentrações de farinha de tâmara liofilizada.

Formulações	Compostos fenólicos (mg EAG/100g)
0%	5,19 ± 0,31e
5%	12,78 ± 1,20d
10%	23,66 ± 0,97c
15%	41,08 ± 1,12b
20%	53,14 ± 1,36a

Nota: 0% é a formulação controle sem adição de farinha liofilizada de tâmara; Letras iguais na mesma coluna não indicam diferença estatística entre as formulações.

O aumento gradativo dos teores de compostos fenólicos totais em paralelo ao aumento da concentração de farinha de tâmara sugere uma relação direta entre esses componentes bioativos e o teor da farinha de tâmara nos produtos finais. Esse aumento é coerente com estudos que demonstram o potencial da farinha de

tâmara como fonte rica em compostos fenólicos, os quais são conhecidos por suas propriedades antioxidantes e possíveis benefícios à saúde.

Considerações finais

Os resultados revelaram uma redução significativa na firmeza dos cookies conforme a concentração de farinha de tâmara aumentava, possivelmente devido à interação entre a farinha e a matriz dos produtos. Além disso, houve uma diminuição no volume específico dos cookies, sugerindo influência na estrutura interna e retenção de gases durante a cocção. A análise dos compostos fenólicos totais destacou a capacidade de enriquecimento desses componentes nos produtos. No contexto da busca por alternativas saudáveis e funcionais, a incorporação da farinha de tâmara liofilizada em cookies apresenta perspectivas promissoras para o desenvolvimento de produtos atrativos ao consumidor, agregando valor nutricional e sensorial. No entanto, são necessárias investigações adicionais para compreender melhor os mecanismos subjacentes às interações entre os ingredientes e suas implicações na qualidade final dos produtos.

Referências

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

Chang, C. H., Lin, H. Y., Chang, C. Y., & Liu, Y. C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of food engineering*, 77(3), 478-485.

Clerici, M. T. P. S., Oliveira, M. E. D., & Nabeshima, E. H. (2013). Qualidade física, química e sensorial de biscoitos tipo cookies elaborados com a substituição parcial da farinha de trigo por farinha desengordurada de gergelim. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 139-146.

Gan, L. J., Chen, S., Chen, W., Ye, Y., Lei, L., Deng, Z., & Rong, H. (2023). Effect of particle size of *Sargassum fusiforme* residue powder on sugar-free cookies properties. *LWT*, 182, 114826.

Jose, M., Himashree, P., Sengar, A. S., & Sunil, C. K. (2022). Valorization of food industry by-product (Pineapple Pomace): A study to evaluate its effect on physicochemical and textural properties of developed cookies. *Measurement: Food*, 6, 100031.

Mármol, I., Quero, J., Ibarz, R., Ferreira-Santos, P., Teixeira, J. A., Rocha, C. M., ... & Rodríguez-Yoldi, M. J. (2021). Valorization of agro-food by-products and their potential therapeutic applications. *Food and Bioproducts Processing*, 128, 247-258.

Mas, A. L., Brigante, F. I., Salvucci, E., Ribotta, P., Martinez, M. L., Wunderlin, D. A., & Baroni, M. V. (2022). Novel cookie formulation with defatted sesame flour: Evaluation of its technological and sensory properties. Changes in phenolic profile, antioxidant activity, and gut microbiota after simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 389, 133122.

Moraes, K. S. D., Zavareza, E. D. R., Miranda, M. Z. D., & Salas-Mellado, M. D. L. M. (2010). Avaliação tecnológica de biscoitos tipo cookie com variações nos teores de lipídio e de açúcar. *Food Science and Technology*, 30, 233-242.

Osman, M. E. M., Osman, R. S. H., Elmubarak, S. A., Dirar, A. I., & Konozy, E. H. E. (2023). Phoenix dactylifera (date palm; Arecaceae) putative lectin homologs: Genome-wide search, architecture analysis, and evolutionary relationship. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 30(6), 103676.

Yang, L., Wang, S., Zhang, W., Zhang, H., Guo, L., Zheng, S., & Du, C. (2022). Effect of black soybean flour particle size on the nutritional, texture and physicochemical characteristics of cookies. *LWT*, 164, 113649.

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE NECTARINA
SUBMETIDA A ALTA PRESSÃO HIDROSTÁTICA**

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos , Mailson

Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória Régia do

Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,

Dauany de Sousa Oliveira 

Introdução

O consumo regular de frutas e vegetais desempenha um papel fundamental na manutenção de uma dieta saudável, porque esses alimentos contêm grandes quantidades de nutrientes essenciais (Coutinho et al., 2022). Além disso, frutas e vegetais frescos são fontes de fitoquímicos (por exemplo, carotenóides, polifenóis, fitoesteróis), compostos bioativos considerados como tendo muitos benefícios à saúde e aplicações promissoras no campo da saúde alimentar e farmacêutica (Cheng et al., 2023).

A nectarina (*Prunus persica* L. Bastsch) é uma fruta importante em muitos países, apreciada por seu sabor agradável e doçura, além do alto teor de vitamina C, as nectarinas também são ricas em açúcares, compostos fenólicos e carotenóides, que são bons para a dieta e a saúde humana (Wang et al., 2023). É uma fruta climatérica com vida útil curta, limitando seu período de comercialização (Silva et al., 2019). Com isso, para evitar a deterioração e preservá-los para consumo futuro, os frutos devem ser processados (Singh et al., 2022).

As tecnologias de processamento de alimentos têm evoluído constantemente, buscando melhorar a qualidade, segurança e vida útil dos produtos alimentícios. Uma dessas técnicas emergentes é a alta pressão hidrostática (HHP) (Barrón-García et al., 2021). A HHP é uma técnica não térmica

que tem sido amplamente utilizada na indústria alimentícia. Durante o processamento, o alimento é selado em um recipiente e submetido a uma pressão de 100 a 1000 MPa à temperatura ambiente por um período de tempo selecionado, após o qual o ambiente é despressurizado e as amostras são retiradas (Almeida et al., 2022). Segundo Ding et al. (2022), as principais vantagens desta tecnologia são: adequação para produção industrial em massa, processamento em temperatura amenas, a pressão no sistema alimentar é transmitida instantaneamente e criação de biomacromoléculas com diferentes propriedades funcionais (Santos et al., 2022; Almeida et al., 2022).

Nesse sentido, o estudo do comportamento reológico da polpa de nectarina submetida à alta pressão hidrostática assume uma importância relevante, uma vez que a reologia é uma propriedade fundamental para compreender o comportamento de fluxo e deformação do material, influenciando diretamente na textura e qualidade do produto final (Barros et al., 2019). Portanto neste estudo, investigou-se os efeitos de diferentes pressões (100, 200, 300, 400 and 500 MPa) na reologia da polpa de nectarina e modelos matemáticos foram ajustados ao conjunto de dados experimentais.

Materiais e Métodos

Obtenção da polpa

Os frutos de nectarina (*Prunus persica* L. Bastsch) foram adquiridos no comércio local e foram selecionadas em relação a cor, tamanho uniformes e livres de danos físicos. Os frutos foram submetidos à lavagem com água corrente e detergente neutro para remover as sujidades, com posterior imersão em água clorada (200ppm) por 15 min. Com auxílio de uma faca os frutos foram cortados para remoção do caroço e em seguida o fruto foi processado em um processador de frutas (Britânia®) para obtenção da polpa (não houve adição de água durante o processamento).

Tratamento de alta pressão hidrostática

As polpas de nectarina foram embaladas em embalagens de polietileno de baixa densidade e submetidas a tratamento HPP utilizando máquina de tratamento de alta pressão hidrostática (Hiperbaric SA, Burgos) nas pressões de 100 MPa (HHP100), 200 MPa (HHP200), 300 MPa (HHP300), 400 MPa (HHP400) e 500 MPa

(HHP500) por 10 min, a uma temperatura de 25 °C. A polpa sem o tratamento HHP foi tomada como amostra de controle.

Leituras reológicas

As polpas de nectarina controle e tratadas com HHP em diferentes pressões (HHP100, HHP200, HHP300, HHP400 and HHP500) foram usadas para realizar leituras reológicas usando o Digital Brookfield Viscometer DV-II +PRO (modelo RVT, MA, EUA), 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).

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 (Tibco, Statistica, Palo Alto, CA, USA).

$$\tau = K\gamma^n \quad (1)$$

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \gamma^{n_H} \quad (2)$$

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

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 ($Pa.s^{-1}$).

A adequação do modelo reológico foi determinada pelos valores do coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2).

Resultados e Discussões

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 reológicos e estatísticos (R^2 and χ^2) dos modelos de Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley e Casson, ajustados ao conjunto de dados experimentais das polpas de nectarina.

Tabela 1: Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e valores de Qui-quadrado (χ^2) dos modelos reológicos ajustados aos reogramas de polpa de nectarina controle (sem tratamento) e tratada com alta pressão hidrostática.

Modelos	Amostras	Parâmetros				R^2	χ^2
		K (Pa.s) ⁿ	n	-	-		
Ostwald-de-Wale	Controle	25,812	0,612	-	-	0,998	0,011
	HHP100	17,864	0,684	-	-	0,999	0,061
	HHP200	13,908	0,762	-	-	0,999	0,153
	HHP300	10,368	0,855	-	-	0,999	0,073
	HHP400	8,864	0,843	-	-	0,999	0,092
	HHP500	7,687	0,860	-	-	0,998	0,167
	Amostras	τ_{0H} (Pa)	K_H (Pa.s) ⁿ	n_H	-	R^2	χ^2
Herschel-Bulkley	Controle	27,008	9,409	0,908	-	0,998	0,211
	HHP100	5,141	14,674	0,741	-	0,998	0,147
	HHP200	3,554	11,901	0,807	-	0,999	0,324
	HHP300	1,207	9,776	0,827	-	0,999	0,254
	HHP400	0,487	8,619	0,868	-	0,999	0,549
	HHP500	-5,429	10,680	0,764	-	0,998	0,326
	Amostras	K_{0c} (Pa.s) ⁿ	K_c (Pa.s) ⁿ	-	-	R^2	χ^2
Casson	Controle	31,857	7,042	-	-	0,998	0,295
	HHP100	20,388	6,328	-	-	0,997	0,404
	HHP200	14,032	6,431	-	-	0,998	0,138
	HHP300	7,675	6,531	-	-	0,998	0,283
	HHP400	6,344	5,685	-	-	0,998	0,177
	HHP500	5,541	4,701	-	-	0,996	0,258

Note: τ : tensão de cisalhamento (Pa); τ_{0H} : tensão de cisalhamento inicial do modelo Herschel-Bulkley (Pa); γ : taxa de deformação (s^{-1}); n e n_H : i índice de

comportamento do fluido (adimensional); K_0 : raiz quadrada da tensão inicial (Pa); K , K_H and K_c : índices de consistência (Pa.s^{-1}). Controle: polpa de nectarina sem tratamento. HHP100, HHP200, HHP300, HHP400 e HHP500: polpa de nectarina previamente tratada com HHP nas pressões de 100 MPa, 200 MPa, 300 MPa, 400 MPa e 500 MPa, respectivamente.

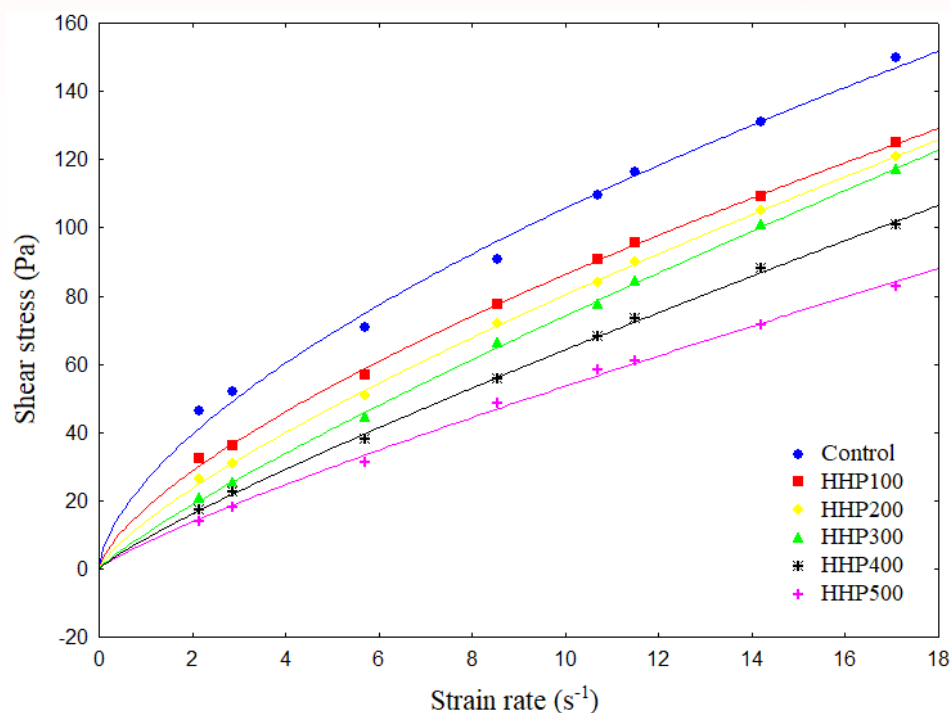
Os modelos ajustados apresentaram $R^2 > 0.99$ para todas as condições estudadas, no entanto, o modelo de Ostwald-de-Waele além de apresentar $R^2 > 0.99$ também apresentou baixos valores de χ^2 na faixa de 0.011 a 0.167. Portanto, com base nesses resultados, pode-se dizer que o modelo de Ostwald-de Waele foi o mais adequado para descrever o comportamento do fluxo reológico da polpa de nectarina.

Os valores obtidos para os parâmetros dos modelos, estão expressos na Table 1. 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 da polpa de nectarina diminuiu com o aumento da HHP e com o aumento da taxa de deformação, mostrando comportamento pseudoplásticos (Sakr et al., 2023). Essa observação sugere que o tratamento com HHP mudou as propriedades reológicas e o aumento da pressão em até 500 MPa levou a redução da viscosidade da polpa. Yuan et al. (2018) também observaram esse mesmo comportamento ao submeterem aronia berry puree to 400 and 600 MPa.

Verifica-se na Tabela 1, que os valores de “ n ” para os modelos ajustados apresentaram valores inferiores a 1, indicando que as polpas de nectarina para todas as condições estudadas podem ser classificadas com fluidos não newtonianos com tendência pseudoplástica ($n < 1$), independente da pressão aplicada. Segundo Barros et al. (2019), fluido 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. Essa mesma classificação também foi relatada em estudos anteriores com polpa de acerola (Pereira et al., 2014) e polpa de jabuticaba (Almeida et al., 2020).

As curvas de fluxo (tensão de cisalhamento $\times$ taxa de deformação) das polpas de nectarina controle e tratadas com HHP a 25 °C ajustadas ao modelo de Ostwald-de-Waele são mostradas na Figura 1.

Figura 1: Reogramas da polpa de nectarina controle (sem tratamento) e tratada com alta pressão hidrostática em diferentes pressões (HHP100, HHP200, HHP300, HHP400 e HHP500) em temperaturas de 25 °C com o modelo de Ostwald-de-Waele ajustado aos dados experimentais.



Observa-se que o processamento HHP diminuiu a tensão de cisalhamento das polpas de nectarina em relação a taxa de deformação. Segundo Opazo-Navarrete et al. (2012) o processamento com HHP pode afetar as propriedades reológicas de polpas de fruta, em decorrência da modificação estrutural das amostras que promove maior permeabilidade das paredes celulares (Alvarez et al., 2015). Esse comportamento também foi relatado por Keenan et al. (2011), ao avaliarem o efeito da HHP (500 MPa) em purê de maçã, observaram que as amostras tratadas exibiram afinamento à medida que as taxas de deformação aumentavam, o que é característico de fluidos não newtonianos.

Considerações finais

Em conclusão, este estudo investigou o comportamento reológico da polpa de nectarina submetida a alta pressão hidrostática (HHP). Os resultados indicaram que o modelo de Ostwald-de-Waele foi o mais adequado para descrever o fluxo reológico da polpa de nectarina, apresentando um excelente ajuste aos dados experimentais. A aplicação da HHP resultou em um comportamento pseudoplástico das polpas, com valores de índice de consistência (k) diminuindo conforme o aumento da pressão aplicada. Os resultados desse estudo podem ser aplicados no desenvolvimento de novos produtos com características reológicas específicas, visando atender às preferências dos consumidores e garantir a qualidade e estabilidade dos alimentos.

Reference

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Feitoza, J. V. F., dos Santos Pereira, T., da Silva Eduardo, R., de Almeida Mota, M. M., ... & de Figueiredo, M. J. (2022). Evaluation of the technological properties of rice starch modified by high hydrostatic pressure (HHP). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103241.

Almeida, R. L., Santos, N. C., dos Santos Pereira, T., de Alcântara Silva, V. M., de Alcantara Ribeiro, V. H., Silva, L. N., ... & Monteiro, Y. G. (2020). Estudo reológico da polpa de Jabuticaba com diferentes concentrações de goma arábica. *Research, Society and Development*, 9(3), e91932511-e91932511.

Alvarez, M. D., Fuentes, R., & Canet, W. (2015). Effects of pressure, temperature, treatment time, and storage on rheological, textural, and structural properties of heat-induced chickpea gels. *Foods*, 4(2), 80-114.

Barrón-García, O. Y., Gaytán-Martínez, M., Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Velazquez, G., & Morales-Sánchez, E. (2021). Physicochemical characterization and polyphenol oxidase inactivation of Ataulfo mango pulp pasteurized by conventional and ohmic heating processes. *LWT*, 143, 111113.

Barros, S. L., Santos, N. C., Almeida, R. D., de Alcântara Silva, V. M., Almeida, R. L. J., & Nascimento, A. P. S. (2019). Comportamento reológico e perfil de textura de iogurte integral com polpa de achachairu (*Garcinia humilis*). *Revista Principia*, 1(47), 145-152.

Cheng, M., He, J., Li, C., Wu, G., Zhu, K., Chen, X., ... & Tan, L. (2023). 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*, 114395.

Coutinho, I. B., Quezadas, M. B., de Souza, L. F. G., Nitz, M., & Andreola, K. (2022). Spray drying of avocado pulp using the seed as an adjuvant. *Powder Technology*, 408, 117738.

Ding, Y., Wang, M., Wang, J., Diao, J., Wu, Y., Cheng, J., & Ban, Q. (2022). Exploring the hydration promotion and cooking quality improvement of adlay seed by high hydrostatic pressure. *LWT*, 171, 114158.

Keenan, D. F., Brunton, N., Butler, F., Wouters, R., & Gormley, R. (2011). Evaluation of thermal and high hydrostatic pressure processed apple purees enriched with prebiotic inclusions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 12(3), 261-268.

Liu, J., Wang, R., Wang, X., Yang, L., Shan, Y., Zhang, Q., & Ding, S. (2019). Effects of high-pressure homogenization on the structural, physical, and rheological properties of lily pulp. *Foods*, 8(10), 472.

Opazo-Navarrete, M., Tabilo-Munizaga, G., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., & Pérez-Won, M. (2012). Effects of high hydrostatic pressure (HHP) on the rheological properties of Aloe vera suspensions (*Aloe barbadensis* Miller). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 16, 243-250.

Pereira, C. G., de Resende, J. V., & Giarola, T. M. (2014). Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. *LWT*, 58(2), 446-453.

Sakr, S. S., Mohamed, S. H., Ali, A. A., Ahmed, W. E., Algheshairy, R. M., Almujaaydil, M. S., ... & Hassan, M. F. (2023). Nutritional, Physicochemical, Microstructural, Rheological, and Organoleptical Characteristics of Ice Cream Incorporating *Adansonia digitata* Pulp Flour. *Foods*, 12(3), 533.

Santos, 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. (2022). 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*, 1-13.

Silva, E. S., Brandão, S. C. R., da Silva, A. L., da Silva, J. H. F., Coêlho, A. C. D., & Azoubel, P. M. (2019). Ultrasound-assisted vacuum drying of nectarina. *Journal of Food Engineering*, 246, 119-124.

Singh, S., Kawade, S., Dhar, A., & Powar, S. (2022). Analysis of mango drying methods and effect of blanching process based on energy consumption, drying time using multi-criteria decision-making. *Cleaner Engineering and Technology*, 8, 100500.

Sousa, S. D. F., Queiroz, A. J. D. M., Figueirêdo, R. M. F. D., & Silva, F. B. D. (2017). Rheological behavior of whole and concentrated noni pulp. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2016067.

Wang, Y., Hao, Y., Zhou, D., Pan, L., & Tu, K. (2023). Differences in commercial quality and carotenoids profile of yellow-and white-fleshed nectarina fruit during low temperature storage and the regulation of carotenoids by sugar. *Postharvest Biology and Technology*, 197, 112206.

Yuan, B., Danao, M. G. C., Lu, M., Weier, S. A., Stratton, J. E., & Weller, C. L. (2018). High pressure processing (HPP) of aronia berry puree: Pilot scale processing and a shelf-life study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 241-248.

DESENVOLVIMENTO DE MOLHO DE TOMATES COM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE FARINHA DE PIMENTA HABANERO CHOCOLATE: DETERMINAÇÃO DE COMPOSTOS FENÓLICOS, ANTOCIANINAS E AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos ,

Mailson Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória Régia do Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,

Dauany de Sousa Oliveira 

Introdução

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) é uma fruta altamente popular, amplamente consumida mundialmente in natura e em mais de 80% como produtos processados (Izzo et al., 2022). O molho de tomate é um produto culinário amplamente consumido em diversas culturas ao redor do mundo. Além de agregar sabor e aroma a uma variedade de pratos, o molho de tomate também é apreciado por suas propriedades nutricionais, como teor de licopeno e antioxidantes (Kumar et al., 2021). Nos últimos anos, tem havido um crescente interesse em enriquecer produtos alimentícios com ingredientes funcionais para fornecer benefícios adicionais à saúde (Tagliamonte et al., 2023).

Uma das alternativas para promover esses benefícios é a incorporação de farinha de pimenta ao molho de tomate. A pimenta é uma importante hortaliça e popularmente utilizada como tempero em todo o mundo. Os três maiores produtores de pimentas são China (45,3%), México (8,4%) e Turquia (6,3%).

Em 2016, o Brasil produziu 28.270 toneladas de pimenta; os maiores produtores foram São Paulo (4.878 toneladas), Amazonas (3.690 toneladas), Pará (3.629 toneladas), Ceará (3.119 toneladas) e Goiás (2.296 toneladas). (Sampaio et al., 2023).

Dentre as diversas variedades, temos a pimenta habanero chocolate (*Capsicum chinense*) é conhecida por sua intensidade de sabor e alto teor de

compostos bioativos, como capsaicinoides, flavonoides e carotenoides, que possuem propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias (Peralta-Cruz et al., 2021).

O aumento do teor de antioxidantes naturais em alimentos vegetais tradicionais, em vez do consumo de produtos antioxidantes artificiais, pode ser uma boa estratégia para melhorar o status antioxidante e diminuir o risco de doenças relacionadas ao estresse oxidativo (Abete et al., 2013).

Portanto, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um molho de tomate com diferentes concentrações de farinha de pimenta habanero chocolate e caracterizar as formulações quanto a compostos fenólicos totais, antocianinas totais e atividade antioxidante. A incorporação de ingredientes inovadores, como a farinha de pimenta habanero chocolate, no molho de tomate pode resultar em um produto diferenciado e atrativo ao paladar dos consumidores. A diversificação de produtos no mercado alimentício é uma estratégia para atender a demanda por novidades e oferecer opções que atendam a diferentes preferências do consumidor.

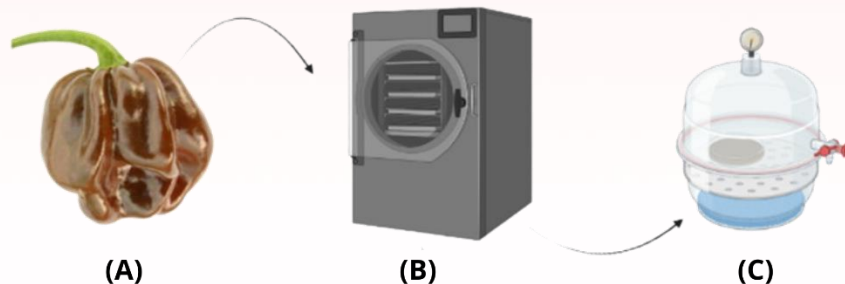
Materiais e Métodos

Obtenção da farinha de pimenta

Para a obtenção da farinha de pimenta *Capsicum chinense* habanero chocolate, o processo foi realizado em temperatura controlada de 70 °C. Inicialmente, as pimentas foram selecionadas e higienizadas para eliminar impurezas e com auxílio de uma faca seus talos foram removidos.

Em seguida, as pimentas foram submetidas a um processo de secagem em uma estufa com circulação de ar controlado, onde a temperatura do ar de secagem foi mantida constante em 70°C. Após o período de secagem (até obtenção de massa constante), as pimentas desidratadas foram moídas em processador de alimentos por 5 minutos, em seguida, a granulometria do pó foi padronizada por meio de peneira de 60 mesh. A farinha obtida foi armazenada em um dessecador na temperatura de 25 °C até o momento de ser adicionado ao molho de tomate. A Figura 1, apresenta resumidamente um esquema ilustrativo desta etapa.

Figura 1: A) Pimenta *Capsicum chinense* habanero chocolate, B) Etapa de secagem das pimentas a 70 °C em estufa com circulação de ar e C) Armazenamento da farinha de pimenta em dessecador a 25 °C.

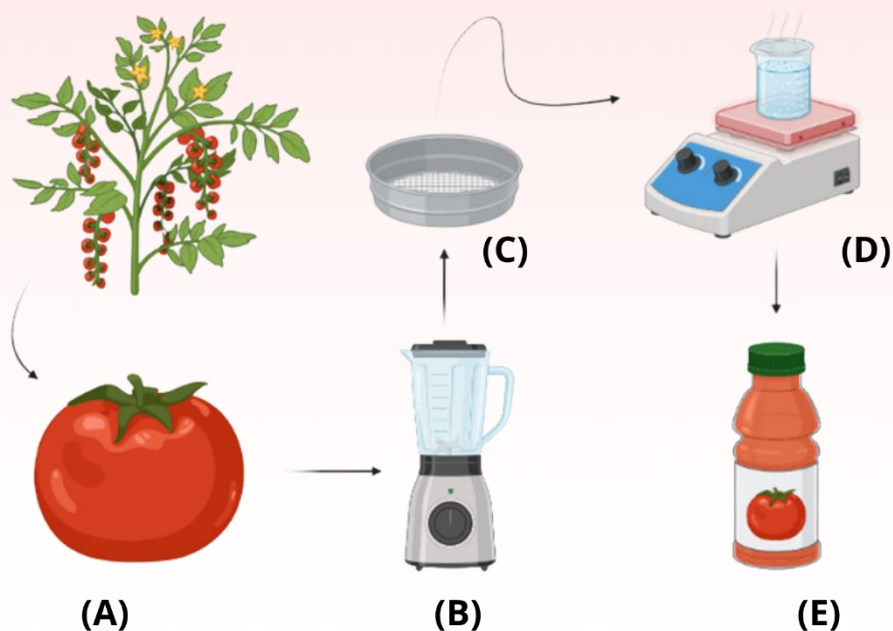


Fonte: Própria (2023)

Obtenção do Molho de tomate

Para a obtenção do molho de tomates maduras, foram selecionados tomates de alta qualidade e maturidade (coloração intensa vermelha). Os tomates foram lavados e higienizados para remover quaisquer impurezas e resíduos. Em seguida, foram processados por meio de trituração em liquidificador doméstico para obter uma polpa homogênea. A polpa obtida foi filtrada em peneira doméstica e então cozida em fogo baixo durante 15 min. Após o tempo de cozimento adequado, o molho foi deixado em repouso até que atingisse 25 °C, para então ser armazenado em embalagens adequadas. A Figura 2, apresenta resumidamente um esquema ilustrativo desta etapa.

Figura 2: A) Tomates vermelhos maduros, B) Etapa de trituração para obtenção da polpa, C) Filtração da polpa para obtenção de uniformidade e homogeneidade, D) Cozimento da polpa durante 15 minutos e E) Armazenamento do molho de tomate puro.

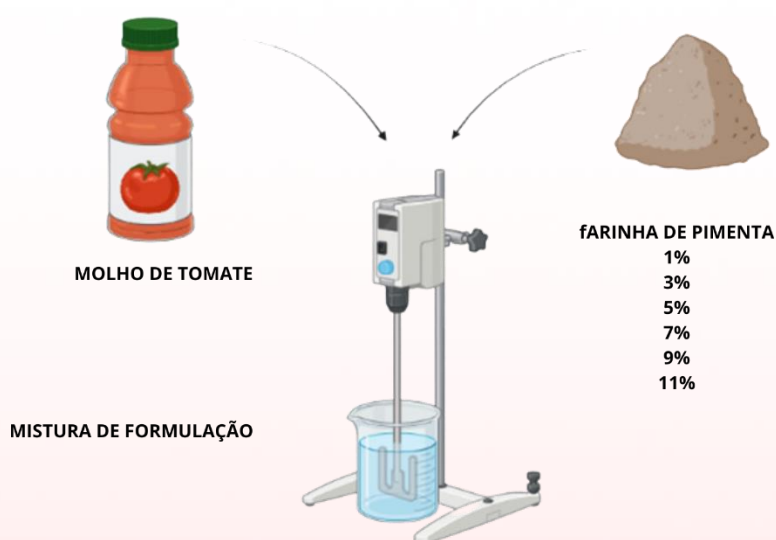


Fonte: Própria (2023).

Formulações desenvolvidas

Foram preparadas diferentes formulações do molho de tomates, variando as concentrações de farinha de pimenta (por exemplo, 0%, 1%, 3%, 5%, 7%, 9% e 11% em relação à massa total do molho). A Figura 3, apresenta resumidamente um esquema ilustrativo desta etapa.

Figura 3: Preparo das diferentes formulações do molho de tomates, variando as concentrações de farinha de pimenta.



Fonte: Própria (2023).

Cada formulação foi cuidadosamente misturada com agitador mecânico com rotação 500rpm para garantir uma distribuição uniforme da farinha de pimenta em todo o molho. Após o preparo, as amostras de molho de tomates com as diferentes concentrações de farinha de pimenta foram acondicionadas em recipientes herméticos e armazenadas sob condições adequadas (25 °C) para evitar a degradação dos compostos bioativos.

Caracterização das formulações

Método de Folin-Ciocalteu descrito por Chang et al. (2006) foi usado para determinar o teor de compostos fenólicos totais. Para isso, um extrato aquoso foi preparado na proporção 1:10 (molho de tomate:água). Uma alíquota de 125 µL do extrato foi misturada com 500 µL de água destilada e misturada com 125 µL do reagente Folin ciocalteu por 6 min. Em seguida, foram adicionados 1,25 mL de Na₂CO₃ 7% e 1 mL de água destilada e finalmente incubados à temperatura ambiente no escuro por 30 min. A absorbância foi medida a 760 nm usando um espectrofotômetro UV/VIS e os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG)/g de amostra usando uma curva padrão.

O teor de antocianina monomérica total com base em um método de pH diferencial foi determinado em todas as formulações seguindo a metodologia proposta por Daniadi et al. (2020). Cada amostras foi diluída com tampões de pH 1,0 e pH 4,5 e a absorbância medida em 520 nm e 700 nm usando um espectrofotômetro UV/VIS. A concentração de pigmento de antocianina foi então calculada e expressa como equivalentes de cianidina-3-glicosídeo, como segue na Equação 1:

$$AT = \frac{(A \times MW \times DF \times 1000)}{\epsilon \times l} \quad (1)$$

Onde: A = (absorvância em 520 nm – absorbância em 700 nm) em pH 1,0 – (absorvância em 520 nm – absorbância em 700 nm) em pH 4,5; MW (peso molecular) = 449,2 g/mol para cianidina-3-glicosídeo (Cyn3Gl); DF = fator de diluição; l = comprimento do caminho em cm; ϵ = 26 900 coeficiente de extinção molar, em L/mol × cm, para Cyn3Gl; e 1000 = fator de conversão de g para mg.

Dois diferentes métodos (ABTS e DPPH) foram usados para determinar a atividade antioxidante de acordo com o protocolo descrito por Thaipong et al. (2006). O mesmo extrato descrito na análise de compostos fenólicos totais usado. Para todos os métodos de determinação de antioxidantes, os resultados foram expressos em $\mu\text{Mol Trolox/g}$ de amostra a usando uma curva padrão de Trolox (0–200 mg/l).

Análise estatística

As determinações analíticas foram realizadas em triplicata e os resultados foram relatados como média $\pm$ desvio padrão. ANOVA One-Way com intervalo de confiança de 95% ($p < 0,05$) foi conduzido para avaliar possíveis diferenças entre as diferentes concentrações de farinha de pimenta usando o programa estatístico Statistic 8.0.

Resultados e Discussões

A Tabela 1 apresenta os resultados do teor de compostos fenólicos totais e antocianinas nos molhos de tomates elaborados, adicionados com diferentes concentrações de farinha de pimenta habanero chocolate

Tabela 1: Teor de compostos fenólicos totais e teor de antocianinas nos molhos de tomates elaborados e adicionados com diferentes concentrações de farinha de pimenta.

Formulações	Compostos fenólicos (mg EAG/100g)	Antocianinas (mg/100g)
0%	28,61 $\pm$ 0,50f	0,90 $\pm$ 0,02d
1%	29,14 $\pm$ 0,66f	0,95 $\pm$ 0,03d
3%	30,52 $\pm$ 0,33e	1,03 $\pm$ 0,10d
5%	36,49 $\pm$ 0,19d	1,34 $\pm$ 0,13c
7%	42,22 $\pm$ 0,21c	1,82 $\pm$ 0,11b
9%	55,80 $\pm$ 0,37b	2,05 $\pm$ 0,06a
11%	57,19 $\pm$ 0,55a	2,24 $\pm$ 0,15a

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações de molho.

A análise dos resultados revelou um aumento significativo nos teores de compostos fenólicos totais e antocianinas à medida que as concentrações de farinha de pimenta habanero chocolate foram incrementadas no molho de tomates, especialmente em concentrações superiores a 1% ($p < 0,05$). Os teores médios de compostos fenólicos variaram de 28,61 a 57,19 mg EAG/100g, enquanto os teores de antocianinas apresentaram valores entre 0,90 e 2,24 mg/100g. Esses resultados indicam claramente que a incorporação da farinha de pimenta ao molho de tomates conferiu uma considerável melhoria na composição bioativa do produto.

Além disso, o aumento dos teores de compostos bioativos pode contribuir para a estabilidade e maior vida útil do produto, uma vez que esses compostos estão associados à proteção contra a oxidação lipídica e o desenvolvimento de características indesejáveis, como a deterioração oxidativa (Okoro et al., 2023). Abreu e Barcelos (2013) ao avaliarem os efeitos de diferentes tempos de cozimento na polpa de tomate, obtiveram teores de fenólicos entre 20-50 mg/100g.

A Tabela 2 exibe os resultados da atividade antioxidante dos molhos de tomates elaborados, adicionados com diferentes concentrações de farinha de pimenta habanero chocolate, determinados por meio dos métodos de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e ABTS (ácido 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfônico)). Segundo Wan et al. (2022), a atividade antioxidante é de grande interesse, uma vez que os radicais livres são associados a processos de oxidação e estresse oxidativo no organismo, contribuindo para o desenvolvimento de diversas doenças crônicas, sendo assim, os valores apresentados representam a capacidade de cada amostra em neutralizar os radicais livres desses dois métodos reativos.

Tabela 2: Atividade antioxidante medida pelos métodos de DPPH e ABTS dos molhos de tomates elaborados e adicionados com diferentes concentrações de farinha de pimenta.

Formulações	DPPH	ABTS
	($\mu\text{Mol Trolox/g}$)	($\mu\text{Mol Trolox/g}$)
0%	$1,42 \pm 0,11c$	$0,19 \pm 0,03c$
1%	$1,91 \pm 0,08b$	$0,48 \pm 0,09b$
3%	$1,97 \pm 0,16b$	$0,55 \pm 0,10b$
5%	$2,04 \pm 0,39b$	$0,58 \pm 0,06b$
7%	$2,23 \pm 0,15b$	$0,59 \pm 0,01b$
9%	$2,62 \pm 0,21a$	$0,66 \pm 0,04a$
11%	$2,88 \pm 0,19a$	$0,72 \pm 0,12a$

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações de molho.

Nossos resultados corroboram com os teores de compostos fenólicos e antocianinas, demonstrando que a adição de farinha de pimenta habanero chocolate ao molho de tomates conferiu atividade antioxidante ao produto, cuja intensidade foi diretamente proporcional à concentração utilizada. Os valores obtidos para a atividade antioxidante, avaliados pelos métodos DPPH e ABTS, variaram de 1,42 a 2,88 $\mu\text{Mol Trolox/g}$ e de 0,19 a 0,72 $\mu\text{Mol Trolox/g}$, respectivamente. Notavelmente, as concentrações de 1% a 7% não apresentaram diferenças significativas em relação à atividade antioxidante, assim como as formulações com 9% e 11% ($p < 0,05$). Essa tendência sugere que a farinha de pimenta habanero chocolate, rica em compostos antioxidantes, desempenhou um papel efetivo na proteção contra danos oxidativos no molho de tomates.

Considerações finais

Em conclusão, o presente estudo demonstrou que a adição de farinha de pimenta habanero chocolate ao molho de tomates resultou em um significativo aumento nos teores de compostos fenólicos totais e antocianinas. Essa melhoria na composição bioativa do molho de tomates foi diretamente proporcional à concentração utilizada, especialmente em concentrações superiores a 1%. Além

disso, os molhos enriquecidos com a farinha de pimenta apresentaram elevada atividade antioxidante, com capacidade de neutralizar os radicais livres em ambos os métodos de DPPH e ABTS. Esses resultados sugerem que a farinha de pimenta habanero chocolate pode ser uma excelente alternativa para o desenvolvimento de produtos alimentícios funcionais, agregando valor nutricional e proporcionando benefícios à saúde dos consumidores. Além disso, a adição de farinha de pimenta conferiu ao molho um sabor característico e uma suave picância, podendo agradar aos consumidores que buscam opções mais intensas e diferenciadas., no entanto, como sugestão de trabalhos futuros uma análise sensorial desses molhos deve ser realizada.

Referências

Abete, I., Perez-Cornago, A., Navas-Carretero, S., Bondia-Pons, I., Zulet, M. A., & Martinez, J. A. (2013). A regular lycopene enriched tomato sauce consumption influences antioxidant status of healthy young-subjects: A crossover study. *Journal of functional foods*, 5(1), 28-35.

Chang, C. H., Lin, H. Y., Chang, C. Y., & Liu, Y. C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of food engineering*, 77(3), 478-485.

Darniadi, S., Ifie, I., Ho, P., & Murray, B. S. (2019). Evaluation of total monomeric anthocyanin, total phenolic content and individual anthocyanins of foam-mat freeze-dried and spray-dried blueberry powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1599-1606.

Izzo, L., Castaldo, L., Lombardi, S., Gaspari, A., Grosso, M., & Ritieni, A. (2022). Bioaccessibility and antioxidant capacity of bioactive compounds from various typologies of canned tomatoes. *Frontiers in Nutrition*, 9, 849163.

Kumar, M., Tomar, M., Bhuyan, D. J., Punia, S., Grasso, S., Sa, A. G. A., ... & Mekhemar, M. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) seed: A review on bioactives and biomedical activities. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 142, 112018.

Okoro, B. C., Dokunmu, T. M., Okafor, E., Sokoya, I. A., Israel, E. N., Olusegun, D. O., ... & Ugbogu, E. E. A. (2023). The Ethnobotanical, Bioactive Compounds, Pharmacological Activities and Toxicological Evaluation of Garlic (*Allium sativum*): A Review. *Pharmacological Research-Modern Chinese Medicine*, 100273.

Peralta-Cruz, C., Rodríguez-Buenfil, I. M., Cabal-Prieto, A., Cuervo-Osorio, V. D., Oney-Montalvo, J. E., Herrera-Corredor, J. A., ... & Ramírez-Rivera, E. D. J. (2021). Modeling consumer satisfaction to identify drivers for liking: An online survey based on images of Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.). *Journal of Sensory Studies*, 36(6), e12696.

Sampaio, A. P. L., Aguilera, J. G., Mendes, A. M. D. S., Argente-Martínez, L., Zuffo, A. M., & Teodoro, P. E. (2023). The role of the genetic diversity of *Capsicum* spp. in the conservation of the species: Qualitative and quantitative characterization. *Ciência e Agrotecnologia*, 47.

Tagliamonte, S., Romano, R., Chiacchio, M. F., Aiello, A., De Luca, L., Salzano, V., & Vitaglione, P. (2023). Enrichment of tomato sauce and chopped tomatoes with tomato by-products increases antioxidant activity upon in vitro digestion. *LWT*, 115002.

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

Wan, F., Feng, C., Luo, K., Cui, W., Xia, Z., & Cheng, A. (2022). Effect of steam explosion on phenolics and antioxidant activity in plants: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 124, 13-24.

**DESENVOLVIMENTO DE UM SMOOTHIE DE MORANGO COM
ACEROLA SUPLEMENTADO COM PROTEÍNA VEGETAL:
CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E DETERMINAÇÃO DE
COMPOSTOS FENÓLICOS E ANTIOXIDANTES**

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos ,

**Mailson Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória
Régia do Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,**

Dauany de Sousa Oliveira 

Introdução

A gama de produtos nos supermercados é muito grande e diversificada e é continuamente expandida com novos produtos. As inovações de produto são determinadas pelas necessidades individuais e pelo comportamento de compra dos consumidores (Bäuerle e Kühn, 2022). Embora uma alta qualidade sensorial seja o foco, também é importante para os consumidores que os alimentos sejam ricos em compostos biofuncionais e tenham alta densidade de nutrientes, pois as pessoas estão cada vez mais atentas a uma dieta balanceada (Chawla et al., 2023).

Os smoothies são novos produtos no mercado e são potencialmente uma maneira conveniente e saborosa de substituir pelo menos uma porção de frutas ou vegetais das cinco porções diárias recomendadas (Saini e Sharma, 2020). Smoothies são geralmente bebidas semilíquidas e espessas, obtidas pela mistura de frutas, sucos de frutas e/ou purê de frutas. Para aumentar a sensação sensorial, água, gelo, açúcar, adoçantes, especiarias, sementes, iogurte ou leite podem ser adicionados (Picouet et al., 2016). Para aumentar a quantidade de compostos bioativos em smoothies, alguns pesquisadores propuseram a incorporação de matérias-primas ricas em fitoquímicos para inclusão em smoothies (Kidoñ e Uwineza, 2022).

O morango é uma fruta perecível com aparência atraente e esplêndidos atributos organolépticos. Os morangos são ricas fontes de vitaminas, minerais,

antioxidantes e ácidos orgânicos que variam com a maturidade da colheita e genótipo (Maryam et al., 2021). Essa mistura única de fitonutrientes torna o morango um alimento funcional. A sua ingestão diária previne múltiplas doenças como, entre outras, tumores, obesidade, doenças cardiovasculares e gota devido às suas propriedades anti-inflamatórias e também à capacidade de reduzir a suscetibilidade a infecções (Hernández-Martínez et al., 2023).

A acerola (*Malpighia emarginata* DC.) é uma fruta tropical originária da América Central e introduzida no Brasil na década de 1950 devido à sua boa adaptação ao solo e ao clima. Devido ao seu inegável potencial como fonte natural de vitamina C e outros compostos bioativos e à grande capacidade de aproveitamento industrial, o fruto tem despertado interesse industrial e se tornado importante economicamente em diversas regiões do Brasil (Teixeira et al., 2022).

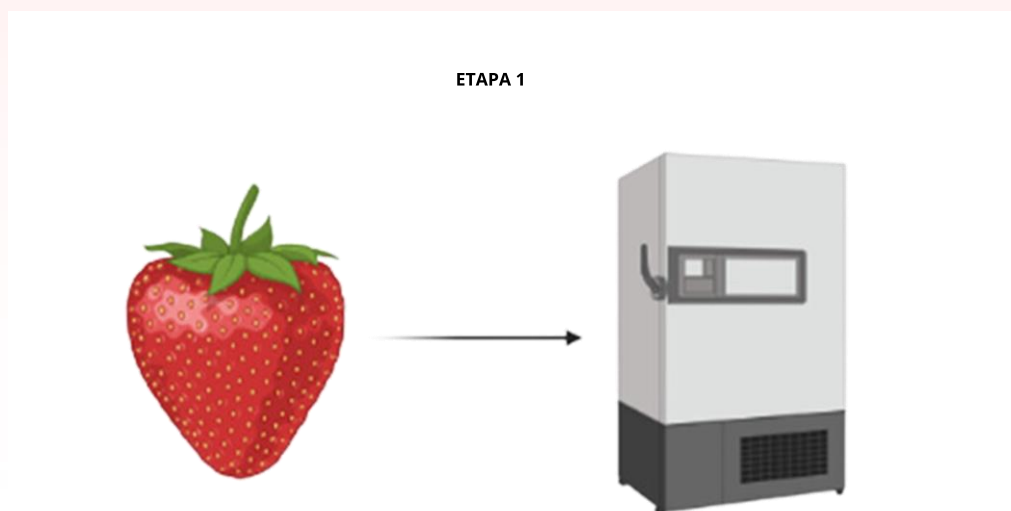
A adição de proteína vegetal em smoothies também é de grande interesse, especialmente para indivíduos que seguem uma dieta vegetariana ou vegana, pois proporciona uma fonte de proteína completa e de alta qualidade, além de contribuir para a sensação de saciedade e manutenção da massa muscular (Liu, 2023). Levando-se em consideração esses aspectos, o presente estudo tem como objetivo desenvolver um smoothie de morango com acerola suplementado com proteína vegetal e caracterizar quanto a parâmetros físico-químicos e bioativos.

Materiais e Métodos

Congelamento dos morangos

A etapa inicial deste estudo consistiu na seleção cuidadosa morangos, garantindo a escolha de frutos frescos e sem danos físicos. Os morangos foram submetidos a uma limpeza e higienização para remover impurezas e resíduos indesejados. Após a higienização, os morangos foram congelados a -18 °C. A Figura 1, representa esquematicamente a etapa de congelamento.

Figura 1: Etapa 1: Congelamento dos morangos a -18 °C.



Obtenção do suco de acerola

Para a obtenção do suco de acerola, as frutas previamente selecionadas e higienizadas foram processadas em liquidificador doméstico. A Mistura heterogênea foi filtrada para remover quaisquer impurezas e sementes. O suco foi acondicionado em embalagens de vidro e mantidos sob refrigeração (8 °C). A Figura 2, representa esquematicamente a etapa de obtenção do suco de acerola.

Figura 2: Etapa 2: Obtenção do suco de acerola



Preparação dos smoothies

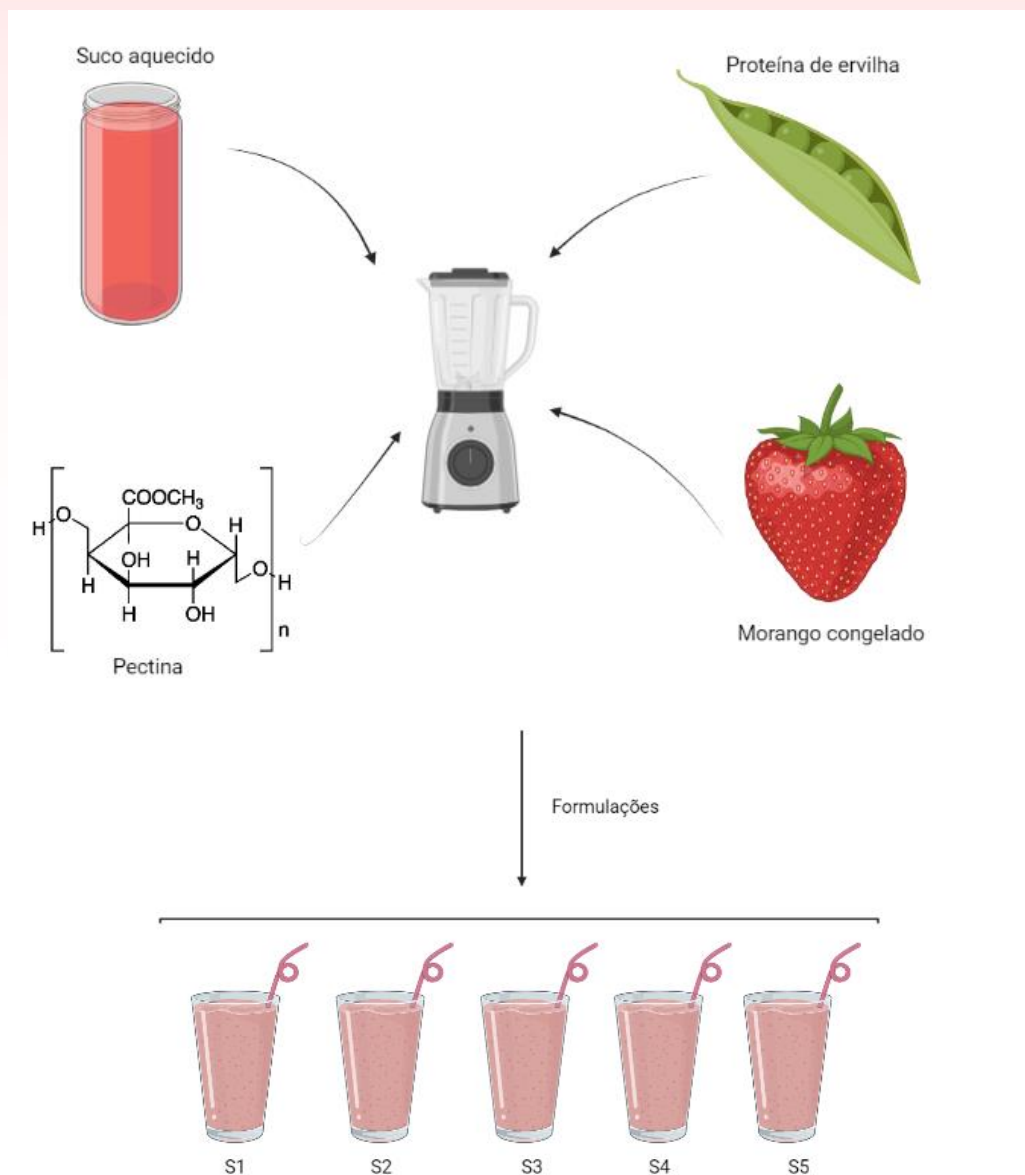
Foram produzidas cinco formulações de smoothies usando diferentes proporções de morango e suco de acerola, conforme apresentando na Tabela 1.

Tabela 1: Proporções de morango e suco de acerola utilizado para cada formulação de smoothie desenvolvida.

Formulações	Morango (%)	Suco de acerola (%)
S1	70	30
S2	80	20
S3	90	10
S4	95	5
S5	97	3

O suco de acerola foi aquecido a 65 °C e, em seguida, adicionou-se pectina em uma proporção de 0,2%, sendo a mistura agitada no liquidificador por 10 minutos. Na etapa seguinte, a proteína de ervilha foi adicionada à mistura na quantidade de 10%, e a agitação foi mantida por mais 20 minutos. Por fim, os morangos foram incorporados à mistura e agitados por três minutos, garantindo assim a homogeneização dos ingredientes. A Figura 3, representa esquematicamente a etapa descrita anteriormente para prepara dos smoothies.

Figura 3: Preparado dos smoothies de morango com suco de acerola e proteína de ervilha.



Caracterização das formulações

O valor do pH foi medido diretamente usando um medidor de pH à 20 °C após uma calibração usando as soluções tampão padrão com valores de pH de 4,01, 6,86 e 9,18, respectivamente. Para estimar a acidez titulável, o método de titulação de NaOH 0,1 N. Para isso, 5 g de amostras juntamente com 20 mL de água destilada foram adicionados a um béquer de 100 mL. Uma gota do indicador fenolftaleína foi adicionada à solução e titulada com NaOH 0,1 N até atingir a coloração rosa (AOAC, 2016). O teor de sólidos solúveis totais foi determinado com um refratômetro manual, colocando algumas gotas do smoothie descongelado no prisma limpo e os resultados foram expressos em graus de °Brix (AOAC, 2016).

Método de Folin-Ciocalteu descrito por Chang et al. (2006) foi usado para determinar o teor de compostos fenólicos totais. Para isso, um extrato aquoso foi preparado na proporção 1:10 (smoothie:água). Uma alíquota de 125 µL do extrato foi misturada com 500 µL de água destilada e misturada com 125 µL do reagente Folin ciocalteu por 6 min. Em seguida, foram adicionados 1,25 mL de Na₂CO₃ 7% e 1 mL de água destilada e finalmente incubados à temperatura ambiente no escuro por 30 min. A absorbância foi medida a 760 nm usando um espectrofotômetro UV/VIS e os resultados foram expressos em mg de equivalente ácido gálico (EAG)/100g de amostra usando uma curva padrão.

Dois diferentes métodos (ABTS e DPPH) foram usados para determinar a atividade antioxidante de acordo com o protocolo descrito por Thaipong et al. (2006). O mesmo extrato descrito na análise de compostos fenólicos totais usado. Para todos os métodos de determinação de antioxidantes, os resultados foram expressos em µMol Trolox/g de amostra a usando uma curva padrão de Trolox (0–200 mg/l).

Análise estatística

A preparação dos smoothies foi realizada em três lotes de forma independente. As análises para cada lote de smoothie foram repetidas três vezes de forma independente, enquanto os dados foram relatados como médias ou valores médios ± desvios padrão. A análise de variância (ANOVA) no nível de 0,05 ($p < 0,05$) foi realizada para determinar a significância estatística entre as amostras por meio do software Statistic 8.0.

Resultados e Discussões

A Tabela 2 apresenta os parâmetros físico-químicos dos smoothies de morango com acerola suplementados com proteína vegetal. Foram analisados o pH, acidez titulável (% de ácido cítrico) e teor de sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos dos smoothies de morango com acerola suplementado com proteína vegetal.

Formulações	pH	Acidez titulável	Sólidos solúveis
-------------	----	------------------	------------------

		(% de ácido cítrico)	totais (°Brix)
S1	4,17 ± 0,01e	0,81 ± 0,02a	12,5 ± 0,10a
S2	4,26 ± 0,02d	0,74 ± 0,01b	11,7 ± 0,12b
S3	4,42 ± 0,00b	0,33 ± 0,01b	10,5 ± 0,05c
S4	4,38 ± 0,01c	0,35 ± 0,02c	9,4 ± 0,07d
S5	4,52 ± 0,01a	0,29 ± 0,01c	8,9 ± 0,11e

Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações de smoothies desenvolvidas.

Os valores de pH foram encontrados na faixa de 4,17 a 4,52, demonstrando que os produtos são levemente ácidos. A variação significativa entre os valores de pH ($p < 0,05$) pode ser atribuída às diferentes proporções entre morango e suco de acerola nas formulações. A formulação S1, com 70% de morango e 30% de suco de acerola, apresentou o valor mais baixo de pH, o que indica uma maior acidez em comparação com as outras formulações. Essa informação é relevante para os consumidores que buscam opções de bebidas com diferentes níveis de acidez, proporcionando uma variedade de escolhas conforme suas preferências. Além disso, os valores de acidez titulável mostraram correlação com os valores de pH, variando de 0,29 a 0,81% de ácido cítrico. A formulação S1, a mais ácida em pH, também apresentou o maior valor de acidez titulável. Essa característica é importante para conferir frescor e vigor ao paladar dos consumidores. Estudos anteriores com diferentes formulações de smoothies também destacaram a influência do pH e acidez na percepção sensorial dos produtos (Pattaro et al., 2020).

Os resultados obtidos para os sólidos solúveis totais nos smoothies de morango com acerola apresentaram variação significativa, com valores encontrados na faixa de 12,5 a 8,9 °Brix. É importante ressaltar que a concentração de suco de acerola nas formulações teve um impacto direto nos teores de sólidos solúveis totais. À medida que a proporção de suco de acerola foi reduzida nas formulações, os valores de sólidos solúveis totais também foram reduzidos significativamente. Essa tendência pode ser explicada pelo fato de que a acerola é naturalmente rica em sólidos solúveis, como açúcares e outros compostos,

contribuindo para o aumento dos valores de °Brix. Assim, a diminuição da concentração de suco de acerola nas formulações resultou em menor contribuição desses compostos, levando à redução dos sólidos solúveis totais.

A Tabela 3 apresenta os resultados dos compostos fenólicos e da atividade antioxidante (ABTS e DPPH) dos smoothies de morango com acerola suplementado com proteína vegetal.

Tabela 3: Compostos fenólicos e atividade antioxidante (ABTS e DPPH) dos smoothies de morango com acerola suplementado com proteína vegetal.

Formulações	Compostos fenólicos (mg EAG/100g)	ABTS (μ Mol Trolox/g)	DPPH (μ Mol Trolox/g)
S1	49,67 $\pm$ 0,17b	3,11 $\pm$ 0,09b	9,54 $\pm$ 0,34a
S2	56,51 $\pm$ 0,34a	3,49 $\pm$ 0,12a	10,29 $\pm$ 0,80a
S3	48,15 $\pm$ 0,21c	3,09 $\pm$ 0,10b	9,26 $\pm$ 0,18a
S4	33,89 $\pm$ 0,49e	2,18 $\pm$ 0,20d	6,88 $\pm$ 0,26c
S5	38,44 $\pm$ 0,57d	2,74 $\pm$ 0,19c	7,15 $\pm$ 0,47b

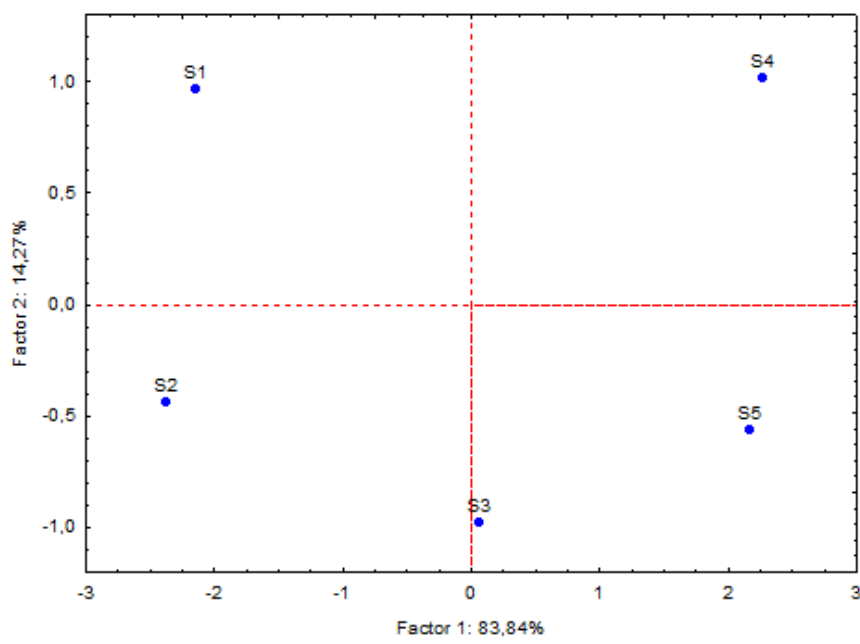
Nota: Letras minúsculas iguais na mesma coluna, indicam que não houve diferença estatística significativa entre as formulações de smoothies desenvolvidas.

Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que os compostos fenólicos dos smoothies variaram significativamente entre as formulações, com teores na faixa de 33,89 a 56,51 mg EAG/100g. Além disso, a atividade antioxidante, avaliada pelos métodos ABTS e DPPH, também apresentou variações, com valores variando de 2,18 μ Mol Trolox/g (S4) a 3,49 μ Mol Trolox/g (S2) no método ABTS e de 6,88 a 10,29 μ Mol Trolox/g entre as amostras S4 e S2, respectivamente, no método DPPH. É importante ressaltar que não foram observadas diferenças estatísticas significativas entre as formulações S1, S2 e S3 em relação à atividade antioxidante pelo método DPPH. O valor obtido para a atividade antioxidante é relevante, uma vez que indica a capacidade do smoothie

de neutralizar os radicais livres, contribuindo para a promoção da saúde e prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo. Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com estudos anteriores que também relataram altos teores de compostos fenólicos e atividade antioxidante em smoothies de outras frutas, como a romã (Cano-Lamadrid et al., 2018).

A Figura 4 apresenta a análise de componentes principais (PCA) realizada para os smoothies de morango com acerola suplementado com proteína vegetal. A análise de componentes principais é uma técnica estatística multivariada que permite a redução da dimensionalidade dos dados e a identificação de padrões e correlações entre as amostras (Santos et al., 2022).

Figura 4: Análise de componentes principais (PCA)



Nessa análise, foram considerados todas as caracterizações realizadas no estudo. Os resultados da PCA revelaram que o primeiro componente principal (PC1) foi responsável por explicar 83,84% da variabilidade total dos dados, enquanto o segundo componente principal (PC2) contribuiu com 14,27% da variabilidade, totalizando em 98,11%. Notavelmente, as amostras S1, S2 e S4 foram alocadas em quadrantes diferentes, sugerindo diferenças significativas em suas características. Por outro lado, as amostras S3 e S5 foram localizadas no mesmo

quadrante no gráfico PCA, indicando que essas amostras compartilham características semelhantes.

Considerações finais

Em conclusão, o desenvolvimento do smoothie de morango com acerola suplementado com proteína vegetal foi bem-sucedido, proporcionando uma bebida rica em compostos bioativos com atividade antioxidante. A análise dos parâmetros físico-químicos revelou que as formulações apresentaram teores adequados de sólidos solúveis, acidez e pH, conferindo um equilíbrio entre o sabor doce dos morangos e o toque ácido da acerola.

A análise de componentes principais (PCA) permitiu a visualização da distribuição das amostras e identificação de agrupamentos distintos, o que auxilia na seleção de formulações mais promissoras com potencial antioxidante. Com base nos achados deste estudo, é possível afirmar que o smoothie de morango com acerola suplementado com proteína vegetal possui potencial para ser uma alternativa saudável e funcional no mercado de alimentos. No entanto, como sugestões de trabalhos futuros uma caracterização nutricional, perfil de fenólicos e análise sensorial devem ser realizadas.

Referências

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

Bäuerle, L., & Kühn, S. (2022). Development of a protein supplemented fruit smoothie using pea protein isolate as a plant-based protein alternative. *Future Foods*, 5, 100145.

Cano-Lamadrid, M., Hernández, F., Nowicka, P., Carbonell-Barrachina, A. A., & Wojdyło, A. (2018). Formulation and storage effects on pomegranate smoothie phenolic composition, antioxidant capacity and color. *LWT*, 96, 322-328.

Chang, C. H., Lin, H. Y., Chang, C. Y., & Liu, Y. C. (2006). Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of food engineering*, 77(3), 478-485.

Chawla, P., Sridhar, K., & Bains, A. (2023). Interactions of legume phenols-rice protein concentrate towards improving vegan food quality: Development of a protein-phenols enriched fruit smoothie. *Food Research International*, 171, 113075.

Hernández-Martínez, N. R., Blanchard, C., Wells, D., & Salazar-Gutiérrez, M. R. (2023). Current state and future perspectives of commercial strawberry production: A review. *Scientia Horticulturae*, 312, 111893.

Kidoń, M., & Uwineza, P. A. (2022). New Smoothie Products Based on Pumpkin, Banana, and Purple Carrot as a Source of Bioactive Compounds. *Molecules*, 27(10), 3049.

Liu, Z. (2023). A review on the emerging conversion technology of cellulose, starch, lignin, protein and other organics from vegetable-fruit-based waste. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124804.

Maryam, A., Anwar, R., Malik, A. U., Raheem, M. I. U., Khan, A. S., Hasan, M. U., ... & Siddique, Z. (2021). Combined aqueous ozone and ultrasound application inhibits microbial spoilage, reduces pesticide residues and maintains storage quality of strawberry fruits. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1437-1451.

Pattaro, L., Gonçalves, J. A., Farias, L. C. B., Medeiros, J. S., Teixeira, P. C., da Cunha, J. V. T., ... & da Silva, M. A. P. (2020). Análises físico-químicas e sensoriais de smoothies do leite de diferentes espécies fermentado por kefir, saborizados com banana e maçã. *Research, Society and Development*, 9(5), e112953145-e112953145.

Picouet, P. A., Hurtado, A., Jofré, A., Bañon, S., Ros, J. M., & Guàrdia, M. D. (2016). Effects of thermal and high-pressure treatments on the microbiological, nutritional and sensory quality of a multi-fruit smoothie. *Food and Bioprocess Technology*, 9, 1219-1232.

Saini, D., & Sharma, S. (2020). Utilization of sand pear and orange peel to develop value added smoothie. *Pharma Innov. J*, 9, 200-202.

Santos, L. O., Dos Santos, A. M., Ferreira, M. M., Ferreira, S. L., & Nepomuceno, A. F. S. (2022). The use of ANOVA-PCA and DD-SIMCA in the development of corn flour laboratory reference materials. *Food Chemistry*, 367, 130748.

Teixeira, B. F., Aranha, J. B., & de Souza Vieira, T. M. F. (2022). Replacing synthetic antioxidants in food emulsions with microparticles from green acerola (*Malpighia emarginata*). *Future Foods*, 5, 100130.

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

Capítulo 7

DOI: 10.53934/202311-07

DETERMINAÇÃO DA VIDA COMERCIAL DE BEBIDAS ALCOÓLICAS MISTAS DE DOCE DE LEITE SUBMETIDAS A TESTES ACELERADOS

Alexandre Santos de Souza*^{ID}, Fábio Pereira de Souza^{ID},

Emília Kelly Barbosa Brito^{ID},

Lara Bruna Brito Castro de Souza^{ID}

Autor correspondente: (Correspondingauthor) e-mail; alexandre.santos@ifnmg.edu.br

Introdução:

A Bebida Alcoólica Mista (BAM) é a bebida obtida por mistura, com graduação alcoólica variável entre 0,5 a 54 % , em v/v, a 20 °C, elaborada com álcool etílico potável de origem agrícola e destilado alcoólico simples de origem agrícola, bebida alcoólica ou a mistura de dois ou mais álcoois antes mencionados, acrescidos de bebida não alcoólica, suco de fruta, fruta macerada, xarope de fruta, leite, ovo, substância de origem vegetal, substância de origem animal ou a mistura de um ou mais produtos citados anteriormente (BRASIL,2019)

No setor de bebidas alcoólicas, existe um fator muito importante que é a presença de uma grande variedade de fornecedores locais e internacionais além de grandes marcas que possuem atuação global. Esse fator torna o mercado de bebidas alcoólicas muito competitivas e com elevada concorrência. Nesse contexto, os principais fatores para a atuação nesse setor são o preço e diferenciação de produtos. Com isso, ocorre um aumento do desenvolvimento de novos sabores e, conseqüentemente, incentivando empresas a lançarem novos produtos frequentemente (VIANA, 2019)

Devido aos alimentos serem uma mistura complexa de diferentes substâncias, alguma alteração que seja promovida no alimento pode afetar diretamente na validade do produto (BRASIL,2019). Assim, para garantir a qualidade de produtos alimentícios, é essencial conduzir várias avaliações que incluem análises físico-químicas, sensoriais e microbiológicas, as quais podem influenciar diferentes estágios da trajetória do produto.

Tendo em vista que, durante o período de armazenamento, os produtos podem sofrer mudanças, como deterioração microbiológica, oxidação de lipídios e perda de nutrientes,

levando à rejeição do produto pelo consumidor. Também são possíveis alterações químicas, como variações no sabor, cor e textura, causadas por processos como oxidação de gorduras, degradação de pigmentos e reações enzimáticas.

Os fatores que afetam a vida-de-prateleira são conhecidos como intrínsecos (pH, acidez, atividade de água, conservantes) e extrínsecos (umidade, iluminação, temperatura, embalagem). Sendo necessário realizar um planejamento do estudo de vida-de-prateleira devendo-se saber quais testes vão ser usados, quanto tempo de duração terá o projeto e com que regularidade as amostras serão analisadas; quantas amostras serão fundamentais para cada teste e quantas amostras serão fundamentais ao todo no projeto (DE ALMEIDA, 2022).

Por meio de técnicas adequadas é possível acelerar as taxas de transformação ocorridas no alimento e promover o desenvolvimento de modelos matemáticos, a fim de obter uma previsão da vida de prateleira, que por sua vez deve relacionar os dados obtidos àqueles encontrados em condições normais de armazenamento.

Em Testes Acelerados de Vida de Prateleira (TAVP) podem ser observadas alterações tanto na velocidade das reações como também nos mecanismos de deterioração do produto pela elevação da temperatura de armazenamento durante o período de estudo (FONSECA, 2023). Portanto, é crucial entender por quanto tempo um alimento mantém suas características sensoriais, já que fatores internos e externos podem encurtar significativamente sua vida útil.

Dessa forma, o presente estudo buscou analisar a estabilidade das bebidas alcoólicas mistas (BAMs) ao longo de 150 dias de armazenamento em condições de cinética de degradação acelerada, através da avaliação de parâmetros físico-químicos e análise da cinética de degradação acelerada.

Material e Métodos

Foram fabricadas 18 amostras de coquetel de doce de leite, compostas por água desmineralizada, destilado alcoólico de cana de açúcar, doce de leite desnatado, açúcar, antioxidante e estabilizante. Essas amostras foram sujeitas a diferentes temperaturas e períodos de armazenamento. Os coquetéis foram envasados em garrafas de 750 mL,

seladas e armazenadas em condições controladas de laboratório a 30 °C e 40 °C. A cada 30 dias, três amostras foram retiradas para análises ao longo de um período total de 150 dias.

Inicialmente, as amostras foram analisadas de acordo com as diretrizes do Ministério da Agricultura para garantir conformidade com os padrões de qualidade e identidade.¹ Foram realizadas análises obrigatórias, incluindo graduação alcoólica real, acidez total, pH, sólidos solúveis totais (°Brix) e açúcares totais. Ao longo dos 150 dias, as amostras armazenadas a 30 °C e 40 °C foram sujeitas às mesmas análises para avaliar a estabilidade ao longo do tempo.

Além disso, foi conduzida uma análise sensorial utilizando um painel de provadores treinados do IFNMG Campus Salinas- MG e provadores não treinados. Por meio dos testes de comparação múltipla e escala hedônica verificou-se se existia diferença significativa entre a amostra padrão, considerando diferentes temperaturas e tempos de armazenamento. As análises foram descritas a seguir:

a) Análises físico-químicas

O método utilizado para determinar a concentração de álcool nas amostras se baseou no princípio refratométrico, com adaptação do procedimento descrito em AOAC. 6 O índice de refração foi empregado como uma medida estimativa para quantificar o teor de etanol nas soluções.

A metodologia envolveu inicialmente a destilação das amostras utilizando um destilador enológico digital modelo SUPER DEE. A análise subsequente do teor alcoólico foi realizada por meio do método mencionado, utilizando um refratômetro de álcool e-LABShop, modelo RHW-80, com capacidade para medir de 0 a 80 % v/v. As amostras foram avaliadas diretamente, adicionando duas gotas no prisma e imediatamente fechando-o para evitar perda de componentes.

Para a análise de acidez total foram transferidos 25 mL da amostra para um erlenmeyer contendo 200 mL de água destilada adicionando duas ou três gotas de fenolftaleína. Em seguida a amostra foi titulada com solução de hidróxido de sódio 0,1 M até o ponto de viragem, acusado pela coloração rosa. O resultado da acidez total foi expresso em gramas de ácido acético por 100 mL da amostra (g/100 mL).

O pH foi obtido por meio de um potenciômetro conforme BRASIL (2005b)⁷, com a temperatura da amostra variando entre 20 e 25°C. A determinação dos teores dos sólidos solúveis totais foi realizada por meio de leitura refratométrica dos graus °Brix da amostra a 20 °C conforme (BRASIL, 2005b), utilizando-se para tanto um refratômetro tipo Abbe com escala de grau °Brix com divisões de no mínimo 0,2. Para a determinação dos teores

de açúcares totais foi utilizado o método titulométrico (método Eynon Lane), conforme a metodologia contida em em Instuto Adolf Lutz. (INSTITUTO ADOLFO LUTZ,2008)

b) Avaliação de vida de prateleira

As equações que expressam a velocidade das reações de degradação são, de maneira simplificada, do tipo:



De acordo com a ordem de ocorrência, têm-se reações de ordem zero, de primeira ordem, de segunda ordem e de terceira ordem. Uma lei cinética de ordem zero indica

que a velocidade é uma constante, independente das concentrações dos reagentes.⁹ Sendo a diminuição de [A] uma função linear do tempo, a concentração de A, para um determinado momento, é dada pela Equação 2.

$$[A] = [A]_0 - kt \quad (2)$$

onde “k” é igual ao coeficiente angular (inclinação) e a concentração inicial [A]₀ é o coeficiente linear (interseção). Quando a lei cinética é de primeira ordem, a velocidade depende da concentração do reagente, de forma que a representação gráfica do logaritmo da

$$\ln[A] = -Kt + \ln[A]_0 \quad (3)$$

onde o coeficiente linear é igual à expressão logarítmica da concentração no tempo zero ($\ln [A]_0$) e o coeficiente angular à constante de velocidade de reação k.⁹

c) Tratamento estatístico

As análises físico-químicas foram realizadas em triplicata. Os resultados obtidos foram submetidos ao programa estatístico Restúdio e aplicados os testes de normalidade de Shapiro Wilk, e teste de Tukey, e os dados não paramétricos, ao teste kruskal Wallis, ambos ao nível de 5 % de significância. Foi realizada a regressão para obter o modelo matemático que melhor explica as relações através da (equação de regressão), no ajuste dos e seleção dos dados foram utilizados os critérios de R² com índice de resposta acima de 80 %, apresentação paramétrica dos resíduos, menores resultados das métricas de Akaike (AIC) e menores Root Mean Squared Error (RMSE).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos das análises físico-químicas realizadas foram expressos na Tabela 1, em que apresentam à média, desvio padrão e a comparação de médias das amostras das BAMs de doce de leite armazenadas por um período de total de 150 dias a temperatura de 30 °C e 40 °C, respectivamente. Para o acompanhamento do efeito da temperatura em função do tempo de armazenamento das amostras, os resultados dos parâmetros físico-químicos foram submetidos a uma regressão linear em função do tempo, com o objetivo de encontrar o modelo matemático que melhor explica essa relação por meio da equação de regressão.

Valores médios e desvios padrão nos tratamentos a 30°C					
	Acidez total (g/100 mL)	Açúcar total	Gradação alcoólica (%)	pH	Sólidos solúveis totais (°Brix)
T0	0,17 ± 0,005 ^c	10,27 ± 0,51 ^a	14,96 ± 0,05 ^a	5,55 ± 0,02 ^c	21,00 ± 0,0 ^a
T1	0,17 ± 0,003 ^c	9,08 ± 0,50 ^a	14,93 ± 0,05 ^a	5,58 ± 0,01 ^c	20,80 ± 0,0 ^b
T2	0,20 ± 0,001 ^a	7,11 ± 0,59 ^b	14,90 ± 0,1 ^a	5,68 ± 0,03 ^b	20,00 ± 0,0 ^c
T3	0,19 ± 0,001 ^b	6,92 ± 0,40 ^b	14,90 ± 0,1 ^a	5,68 ± 0,0 ^b	19,80 ± 0,0 ^d
T4	0,20 ± 0,002 ^a	6,25 ± 0,63 ^b	14,83 ± 0,2 ^a	5,76 ± 0,0 ^a	19,80 ± 0,0 ^d
T5	0,19 ± 0,003 ^b	9,02 ± 0,17 ^a	15,00 ± 0,1 ^a	5,78 ± 0,01 ^a	19,70 ± 0,0 ^c

Valores médios e desvios padrão nos tratamentos a 40°C					
	Acidez total (g/100 mL)	Açúcar total	Gradação alcoólica (%)	pH	Sólidos solúveis totais (°Brix)
T0	0,17 ± 0,005 ^b	10,28 ± 0,51 ^a	14,97 ± 0,06 ^a	5,57 ± 0,02 ^f	21,00 ± 0,0 ^a
T1	0,18 ± 0,001 ^b	8,47 ± 0,52 ^{bc}	14,73 ± 0,06 ^a	5,62 ± 0,00 ^e	20,60 ± 0,0 ^b
T2	0,21 ± 0,003 ^a	7,20 ± 0,04 ^c	14,67 ± 0,58 ^a	5,37 ± 0,01 ^d	20,00 ± 0,0 ^c
T3	0,18 ± 0,001 ^b	5,45 ± 0,43 ^d	14,67 ± 0,29 ^a	5,69 ± 0,0 ^c	19,80 ± 0,0 ^d

T4	0,20 ± 0,002 ^a	5,47 ± 0,11 ^d	14,60 ± 0,53 ^a	5,79 ± 0,0 ^a	19,60 ± 0,0 ^f
T5	0,20 ± 0,001 ^a	9,00 ± 0,28 ^b	15,07 ± 0,07 ^a	5,77 ± 0,01 ^d	19,65 ± 0,7 ^e

Tabela 1- Concentração média, desvio padrão e teste de médias por Tukey/Kruskal Willis dos parâmetros físico- químicos das amostras de doce de leite nos tempos T0 a T5 armazenadas a 30°C e 40°C.

Os valores médios dos parâmetros analisados na Tabela 1 divergiram dos valores encontrados por Brasil (2019)¹⁰ durante a realização de um projeto sobre teste acelerado de "vida de prateleira" em BAM de leite condensado. As discrepâncias observadas podem ser atribuídas às formulações que, podem variar consideravelmente (BRASIL, 2019).

Inicialmente foram testados cinco (5) modelos matemáticos de regressão, coeficiente de determinação, teste de normalidade de Shapiro Wilk, foi testado os critérios de informação de AKAIKE e também foi testado o RMSE, para tal, foram selecionados os parâmetros físico-químicos que se apresentaram com R² com índice acima de 80 % de resposta, que atendessem aos critérios de normalidade e menores AIC e RMSE.

Com base nessas observações e nos resultados da regressão, alguns parâmetros das amostras armazenadas a 30°C e 40°C não se encaixaram em nenhum modelo matemático satisfatório. Esses dados foram excluídos devido ao coeficiente de determinação inferior a 80%, uma distribuição não paramétrica e valores elevados de AIC e RMSE.

O gráfico construído a partir do modelo de regressão selecionado, e que demonstrou os efeitos da temperatura (30°C), em relação ao tempo de armazenamento das amostras (0, 30, 60, 90, 120 e 150 dias), análise que em cada período de tempo considerado, baseou-se nos parâmetros físicoquímicos determinados. Na Figura 1 estão apresentados os resultados obtidos para o modelo de degradação do pH da amostra de "doce de leite" armazenada a 30°C por 150 dias.

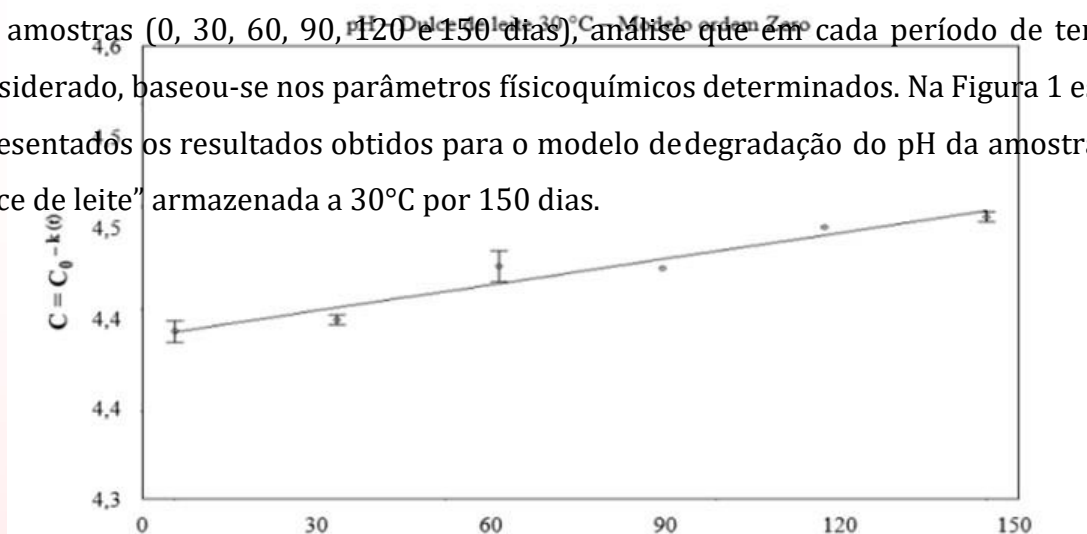


Figura 1- Modelo cinético para as variações do pH nas amostras de dulce de leite armazenada a 30 °C por até 150 dias.

O coeficiente de determinação (C) obteve um valor excelente (> 80%) em relação à temperatura de 30°C, indicando uma resposta sólida nessa condição. Um modelo de regressão linear de ordem zero foi gerado sob essas circunstâncias. O pH influencia diretamente na multiplicação de microrganismos e na qualidade sensorial dos alimentos, mas no estudo em questão, as mudanças no pH foram mínimas, demonstrando a estabilidade das amostras (PINTO, 2015).

Variações no pH da bebida de "doce de leite" armazenada a 30 °C foram observadas, mas foram estatisticamente significativas ($p < 0,05$) de acordo com o teste de Tukey / Kruskal Willis, como indicado na Tabela 1. Baseado nas alterações desses parâmetros, foram obtidos os valores das constantes de degradação da graduação alcoólica e de acidez, para então, ser realizados os cálculos dos parâmetros cinéticos de energia de ativação (E_a) e o fator de aceleração da temperatura (Q10), sendo estes fatores importantes para prever a vida útil do produto. O efeito térmico sobre a velocidade das reações pode ser quantificado através da determinação do fator de aceleração da temperatura ou Q10.

Este fator de aceleração da temperatura (Q10) é obtido através do quociente entre as constantes de velocidade das reações a uma determinada temperatura e outra reação a uma temperatura 10°C mais baixa ou a 10 °C mais alta. Chegando à equação:

$$Q10 = 10^{\frac{E_a}{0,46.T^2}} \quad (4)$$

Através do valor de Q10, pode-se estimar a vida-de-prateleira de um produto para outras temperaturas de armazenamento, desde que estas temperaturas estejam dentro da faixa de térmica que foi utilizada para obter o Q10. Avaliando o resultado obtido no gráfico do efeito da temperatura sobre a constante de velocidade de degradação do pH, pode-se obter o valor de E_a , através do coeficiente angular da reta resultante, obtendo a relação:

$$110,71 = E_a / R$$

Em que: E_a = Energia de ativação, R (constante dos gases ideais) = 1,987 cal.mol⁻¹.K⁻¹ Logo, obteve-se o valor de E_a = 88,56 kcal/mol-1, já para a obtenção de Q10 para as

temperaturas de 30°C e 40°C, obteve-se 1,0048 e 1,0045 respectivamente. ao analisar os resultados obtidos durante o experimento, foi possível notar um aumento considerável no pH do produto e que embora não exista um limite máximo definido na legislação, este é um parâmetro que pode afetar sensorialmente o produto e, portanto, é de extrema importância avaliá-lo para estimar vida-de-prateleira.

Foi adotada uma estimativa de limite máximo de 5,9, o que ao extrapolar a linha de tendência da Figura 1, foi obtido uma vida-de-prateleira de 24 meses para 30°C. Brasil (2019) ao avaliar a vida de prateleira de bebidas alcoólicas mista de leite condensado durante 35 dias, considerando o critério de teor alcoólico, obteve prazo de 142 dias para temperaturas de 35 e 45°C. Em razão da falta de trabalhos com essa especificação de bebida mista torna-se difícil a comparação com outros trabalhos, sabe-se, porém que, os prazos máximos de validade aceitáveis para qualidade e segurança podem não coincidir com uma mesma estimativa; portanto, o período mais curto determinará a durabilidade do produto em questão.

Conclusões

Com base nos resultados apresentados foi percebido que a maioria dos parâmetros analisados a temperatura de 30 °C tendem a uma modelo linear de ordem zero, quando acrescida uma temperatura de 10 °C ao armazenamento os resultados passam a ser de primeira ou segunda ordem, mostrando que a temperatura atua na velocidade de degradação das amostras. Conclui-se também que a utilização de um Teste Acelerado de Vida-de-Prateleira (TAVP), é uma técnica factível para obtenção da vida útil de um produto de forma mais rápida que a tradicional, permitindo estimar em 24 meses a vida de prateleira para as bebidas alcoólicas mistas a 30°C.

Referências

Brasil. (2018). LEI No 13.773, DE 19 DE DEZEMBRO DE 2018. Diário oficial da união. Brasília. Recuperado em agosto de 2023, de <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=20/12/2018&jornal=515&pagina=2&totalArquivos=243>

Viana, E. J. (2019). Diagnóstico da cadeia produtiva e avaliação físico-química de cachaças do Estado da Bahia. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia,

Itapetinga, Bahia.

Schneider, D. et al. (2018). Determinação de vida-de-prateleira de produtos alimentícios. Recuperado em agosto de 2023, de https://eventos.uceff.edu.br/eventosfai_dados/artigos/agrotec2018/950.pdf

De Almeida, K. C. G., & Santos, E. N. F. (s.d.). A análise de regressão na vida de prateleira de alimentos usando “R”. *Ciência e Tecnologia dos Alimentos*, 13, 69.

Fonseca, L. R., Carvalho, N. B., Da Silva, V. M., & Viana, P. A. (2023). Estudo da vida de prateleira de estruturados da polpa técnica de jabuticaba. *Revista Brasileira de Desenvolvimento*, 1, 981–1002. <https://doi.org/10.34117/bjdv9n1-069>

AOAC. (2005). *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists*. Maryland, Gaithersburg. Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1993). NBR 12806: *Análise sensorial dos alimentos e bebidas: Terminologia*. Rio de Janeiro: ABNT.

Brasil. (2005). *Leis, Decretos, etc. Min. Da Agricultura. Manual Operacional de Bebidas e Vinagre (ANEXOS)*. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento-MAPA. Instituto Adolfo Lutz. (2008). *Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos - 4 a Edição*. 1ª Edição digital. Recuperado de http://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf?attach=true

Netz, P. A., & Ortega, G. G. (2008). *Fundamentos de físico-química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas*. Porto Alegre: Artmed.

Brasil, M. de S. Í. do. (2019). *Determinação da vida de prateleira por meio de testes acelerados em bebida alcoólica mista de leite condensado (coquetel)*. Trabalho de Conclusão

de Curso, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN. Recuperado em agosto de 2023, de [https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38854/1/DeterminacaodaVida_%20Bras il_2019.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/38854/1/DeterminacaodaVida_%20Bras%20il_2019.pdf)

Pinto, J. V. (2015). Elaboração de manual prático para determinação de vida-de-prateleira de produtos alimentícios. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Curso de Engenharia de Alimentos, Porto Alegre.

Capítulo 8

DOI: 10.53934/202311-08

DIGESTIBILIDADE *IN VITRO* DE FARINHA DE ARROZ PRETO SUBMETIDA A CONDIÇÕES PRÉVIAS DE TRATAMENTOS DE SECAGEM

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva , Newton Carlos Santos ,

Mailson Gregório Gonçalves , Michael Marcos de Aquino Gomes , Vitória
Régia do Nascimento Lima , Sara Morgana Félix de Sousa ,

Dauany de Sousa Oliveira 

Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é uma das três principais culturas alimentares do mundo e alimenta quase 20% da população global, desempenhando um papel crítico na segurança alimentar (Wu et al., 2023). É um alimento amiláceo, sendo considerado o cereal mais importante nos países em desenvolvimento (CHIMA & FASUAN, 2021). Segundo Silva et al. (2023), o elevado consumo deste cereal está ligado não só ao seu valor nutricional, mas também devido a algumas particularidades deste grão, como não ser um alimento alergênico e não ser tóxico para celíacos, tornando-o apto para a produção de produtos sem glúten.

Além do arroz branco, outras variedades de arroz, como o arroz preto estão expandindo seu uso na indústria alimentícia por apresentar boas características sensoriais e elevado valor nutricional (ALMEIDA et al., 2023a). O arroz preto é rico em proteínas, amido, lipídios, aminoácidos, vitaminas, fibras alimentares, minerais e outros nutrientes, bem como certos componentes funcionais, como pigmentos de antocianina (CHEN et al., 2022). De acordo com Qadir & Wani (2023), esses pigmentos são responsáveis por propriedades antioxidantes, anticancerígenas, cardioprotetoras e de liberação de insulina.

Devido à sazonalidade e seus efeitos nas lavouras, as etapas pós-colheita são essenciais para a preservação e disponibilidade do produto (MALDANER et al., 2021). Segundo Santos et al. (2020), a secagem é um método de operação pós-

colheita que visa reduzir o teor de água dos grãos para armazenamento e conservação seguros, assim como, para obtenção de farinhas (BUREŠOVÁ et al., 2023).

Segundo Jan et al. (2022) a farinha de arroz pode ser utilizada como um dos principais componentes para a fabricação de cereais matinais e lanches prontos para consumo, além disso, a falta de glúten na farinha de arroz oferece uma vantagem adicional, tornando-a uma alternativa promissora à farinha de trigo em produtos de panificação, especificamente para aqueles associados à doença celíaca (SANTOS et al., 2020).

O pré-tratamento com HMT é considerado um método térmico que envolve a exposição do material com um teor de umidade de 10 a 30% a altas temperaturas de 90 a 120 °C por um período de tempo (YANG et al., 2019). O pré-tratamento com etanol consiste na adição de etanol ao material para facilitar a evaporação da água, a rápida evaporação abre canais que facilitam o deslocamento de água pura de dentro do material para o ar de secagem (MACÊDO et al., 2023).

E por fim, o pré-tratamento com HHP é um método não térmico, no qual, a pressão é transmitida uniforme e instantaneamente em todo o sistema alimentar, independentemente de sua geometria e tamanho (SANTOS et al., 2023). Nossas hipóteses, são que essas condições de pré-tratamentos melhorem a qualidade do produto final, além de aumentar a eficiência do processo, tornando-o mais rápido e menos oneroso.

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência de diferentes pré-tratamentos de secagem (HMT, BRE e HHP) na digestibilidade *in vitro* do amido. Ao investigar a digestibilidade da farinha de arroz preto submetida a diferentes condições prévias de tratamento de secagem, podemos entender como essas condições afetam a estrutura do amido e a disponibilidade de nutrientes no produto final.

Materiais e Métodos

Aplicação dos pré-tratamentos e obtenção da farinha

Os grãos de arroz preto foram divididos em três lote para aplicação dos pré-tratamentos, em triplicata. 1) O primeiro lote foi submetido ao tratamento de calor e umidade (HMT) conforme descrito por Kunyane & Luangsakul (2022) com

modificações. Para isso, grãos de arroz preto (100g) foi colocado em um frasco cônico com uma quantidade de água para obter amostras com umidade final de 30%.

Os frascos foram então selados e as misturas aquecidas em forno elétrico (FR-09 Mondial, Brazil) à 110 °C por 2 h. Para aplicação dos demais pré-tratamentos os grãos de arroz preto inicialmente foram submetidos a uma etapa de umidificação em temperatura ambiente (25 °C) para estabilização do teor de água seguindo o procedimento experimental proposto por Botelho et al. (2010). O teor de umidade dos grãos atingiu 30%, constituindo-se esta, o teor de umidade inicial dos grãos (Controle); 2) O segundo lote foi submetido a etapa de pré-tratamento com etanol (BRE) seguindo o protocolo experimental propostos por Santos et al. (2022). Para isso, grãos de arroz preto (100g) previamente umidificados à 25 °C foram imersos em um recipiente com etanol 99.5% (Dinâmica Química Contemporânea, Indaiatuba, Brazil) na proporção 1:1 (w/w) durante 5 min/25 °C, e em seguida os grãos foram colocados em papel toalha para retirar o excesso de etanol superficial.

E por fim, 3) o terceiro lote foi submetido ao pré-tratamento de alta pressão hidrostática (HHP) seguindo a metodologia proposta por Almeida et al. (2023b). No qual, grãos de arroz preto (100g) previamente umidificados à 25 °C foram acondicionados em sacos de polietileno de baixa densidade e foram colocados na câmara de 1 L de um equipamento de alta pressão hidrostática (Hiperbaric SA, Burgos) nas condições de 200 MPa durante 10 min/25 °C.

Para obtenção das farinhas, os grãos de arroz preto sem pré-tratamento (controle) e pré-tratados (HMT, BRE e HHP) foram submetidos ao processo de secagem utilizando um secador convectivo na temperatura de 60 °C e velocidade do ar de 1.5 m s⁻¹.

Digestão in vitro

A digestão salivar-gastrointestinal simulada in vitro das farinhas nas diferentes condições foi realizada usando um método proposto por Tian et al. (2018) e Wei et al. (2023). Para a digestão da saliva, uma solução de α -amilase (10 mg de α -amilase dissolvida em 10 mL de tampão de acetato de sódio 100 mmol/L com pH 6,8) foi adicionada à FBR (2g) e a amostra foi agitada por 2 min a 37 °C.

Após a digestão da saliva, o trato gastrointestinal foi digerido, em seguida, os sobrenadantes da digestão simulada (0,5 mL) foram coletados em diferentes pontos de tempo ao longo dos processos de digestão do intestino delgado (5, 30, 60, 90, 120, 150, 170, 200 min) e imediatamente diluídos com 2.5 mL de etanol 95% para inativar as enzimas. As concentrações de glicose foram medidas usando a metodologia de açúcar redutor proposta por Miller (1959).

A curva padrão para a digestão do amido em diferentes concentrações de glicose foi construída, seguindo a Equação 1.

$$C_t = C_{\infty} \times (1 - e^{-kt}) \quad (1)$$

Onde C_{∞} é a porcentagem estimada de digestão final do amido, C_t é a digestibilidade do amido em t (min) e k é o coeficiente da taxa de digestão do amido. Em seguida, calculou-se a área sob a curva (AUC) (Equação 2). A Equação 3 foi fornecida para calcular o índice glicêmico (IG) de acordo com a metodologia experimental de Wei et al. (2023).

$$AUC = C_{\infty}(t_f - t_0) - \left(\frac{C_{\infty}}{k}\right) [1 - \exp(-k(t_f - t_0))] \quad (2)$$

Onde: AUC é área da curva; C_{∞} é a porcentagem estimada de digestão final; k é o coeficiente da taxa de digestão; t_f é o tempo final (min) e t_0 é o tempo inicial (min).

O índice de hidrólise (HI) foi calculado dividindo-se a área sob a curva da amostra pela área correspondente para um alimento de referência (arroz parboilizado). E o índice glicêmico (GI) foi calculado através da Equação 3.

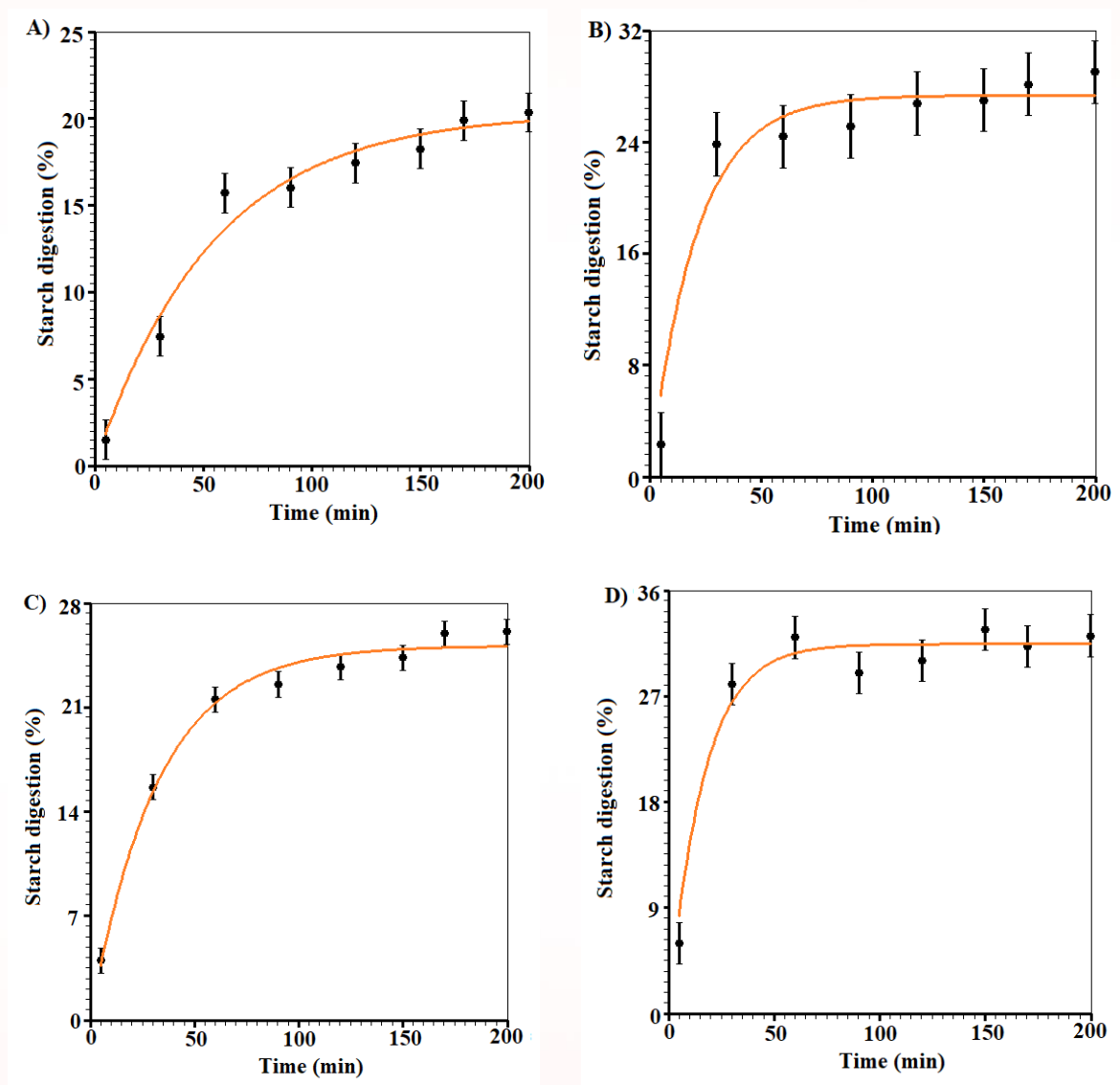
$$GI = 39.71 + (0.549 \times HI) \quad (3)$$

Resultados e Discussões

O amido é o principal componente do arroz e é hidrolisado em glicose no corpo humano para fornecer energia, e sua digestibilidade é importante para a saúde humana (Almeida et al., 2023). A reação catalítica da α -amilase de todas as

FBR (controle, HMT, BRE e HHP) foi avaliada e a curva de progressão em função do tempo é mostrada na Figura 1.

Figura 1 - Digestibilidade in vitro da farinha do arroz preto obtido sob diferentes condições de pré-tratamento ajustadas ao modelo geral de primeira ordem, sendo: A) controle, B) HMT, C) BRE e D) HHP.



Pode-se observar que digestibilidade do amido de todas as amostras de FBR aumentou rapidamente no início, depois atingiu gradualmente o valor máximo e, finalmente, tendeu a ser estável. Wei et al. (2023) relataram comportamento semelhante para digestibilidade in vitro de arroz integral pré-tratado com ácido ascórbico e por Almeida et al. (2022) para amido de arroz vermelho pré-tratado

hidrotermicamente. Um modelo geral de primeira ordem, foi ajustado aos dados experimentais e os parâmetros cinéticos de digestão são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros do modelo de primeira ordem ajustados para a digestão in vitro da farinha de arroz preto obtida sob diferentes condições de pré-tratamento.

Condições	C_{∞} (%)	$k \times 10^2$ (min ⁻¹)	R ²	χ^2
Controle	20,34 ± 0,93 ^d	1,84 ± 0,2 ^d	0,975	0,762
HMT	27,49 ± 0,21 ^b	4,81 ± 0,12 ^b	0,955	1,121
BRE	25,13 ± 0,19 ^c	3,13 ± 0,01 ^c	0,989	0,438
HHP	31,44 ± 0,75 ^a	6,13 ± 0,10 ^a	0,972	0,600

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; R²: Coeficiente de determinação; χ^2 : Qui-quadrado. C_{∞} : Percentual estimado de digestão final do amido; k: Coeficiente de taxa de digestão do amido; HMT: Arroz preto pré-tratado com calor e umidade; BRE: Arroz preto pré-tratado com etanol; HHP: Arroz preto pré-tratado com alta pressão hidrostática.

Este modelo forneceu uma descrição precisa com valores do coeficiente de determinação (R²) maior que 0.95 ($R^2 > 0.95$) para todas as condições de pré-tratamento e a função qui-quadrado apresentou (χ^2) valores variando de 0.438 a 1.121. Ao avaliar os parâmetros cinéticos C_{∞} e k das farinhas de arroz preto, uma diferença ($p < 0.05$) pode ser facilmente percebida entre as amostras controle e pré-tratadas, destaque para HHP e HMT que apresentaram as maiores porcentagens de hidrólise com taxa de $(6,13 \pm 0,10) \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$ e $(4,81 \pm 0,12) \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$, respectivamente. Segundo Park et al. (2022) a taxa de hidrólise pode aumentar significativamente após aplicação de pré-tratamentos.

De fato, nossos resultados evidenciam que os pré-tratamentos aplicados aos grãos de arroz preto resultaram em maiores taxa de reação enzimática. Uma vez que os pré-tratamentos modificam a estrutura do material e a digestibilidade do amido é influenciada pela morfologia granular, cristalinidade e estrutura molecular da amilopectina (Heberle et al., 2022).

De acordo com Yao et al. (2023) as modificações estruturais promovidas pelos pré-tratamentos, podem facilitar a reação com α -amilase em decorrência da maior área. Efetivamente, nossos achados atuais sustentam essa afirmação, visto na Tabela 2, que as maiores áreas foram para as condições utilizando HHP (5775,11), HMT (4926,52) e BRE (4224,65) que apresentaram índice de hidrólise (HI) de 84,93%, 72,44% e 62,12%, respectivamente ($p < 0,05$). Thuengtung et al. (2023) observaram em seus estudos que HMT moderado com maior tempo de aquecimento promoveu menos hidrólise do amido. Leong et al. (2022) obtiveram maiores HI para as amostras pré-tratadas com campo elétrico pulsado. Os valores de HI foram usados para estimar o índice glicêmico (GI) das FBR sem (controle) e com aplicação de pré-tratamentos (HMT, BRE e HHP), os resultados são expressos na Tabela 2.

Tabela 2: Área da curva (AUC), índice de hidrólise (HI) e índice glicêmico (GI) obtidos para farinha de arroz preto submetida a diferentes condições de pré-tratamento.

Condições	AUC	HI (%)	GI
Controle	2990,45 $\pm$ 4,03 ^d	43,97 $\pm$ 0,13 ^d	63,85 $\pm$ 0,09 ^d
HMT	4926,52 $\pm$ 3,47 ^b	72,44 $\pm$ 0,21 ^b	79,48 $\pm$ 0,11 ^b
BRE	4224,65 $\pm$ 2,22 ^c	62,12 $\pm$ 0,15 ^c	73,82 $\pm$ 0,05 ^c
HHP	5775,11 $\pm$ 4,69 ^a	84,93 $\pm$ 0,11 ^a	86,33 $\pm$ 0,14 ^a

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; AUC: área da curva; HI: índice de hidrólise; GI: índice glicêmico; HMT: Arroz preto pré-tratado com calor e umidade; BRE: Arroz preto pré-tratado com etanol; HHP: Arroz preto pré-tratado com alta pressão hidrostática.

A amostra controle apresentou GI de 63,85, no entanto, observou-se que os valores de GI das amostras pré-tratadas foram significativamente maiores ($p < 0,05$) e superiores a 70. Segundo Eyinla et al. (2021) os valores de GI podem ser classificados em baixo (< 55), médio (56–70) e alto (> 70). Kanyanne et al. (2022) obtiveram valores de GI na faixa de 57,75 a 72,2 para arroz branco pré-tratado

com recozimento assistido por ultrassom. De modo geral, o pré-tratamento não térmico com HHP foi mais eficiente em comparação ao pré-tratamento térmico (HMT) e do que utilizando imersão em etanol (BRE).

Considerações finais

Em conclusão, o presente estudo investigou a digestibilidade *in vitro* da farinha de arroz preto submetida a diferentes condições prévias de tratamento. Os resultados demonstraram que os pré-tratamentos, incluindo o uso de calor e umidade (HMT), etanol (BRE) e alta pressão hidrostática (HHP), promoveram modificações estruturais no amido da farinha de arroz preto, resultando em maior reatividade com a α -amilase e, conseqüentemente, aumentando a digestibilidade do amido. Além disso, os índices glicêmicos das amostras pré-tratadas foram significativamente maiores em comparação com a amostra controle, sugerindo uma maior disponibilidade de glicose após o consumo desses produtos. Esses achados contribuem para a compreensão da influência dos pré-tratamentos na digestibilidade da farinha de arroz preto, fornecendo informações importantes para o desenvolvimento de alimentos com propriedades funcionais aprimoradas e benefícios à saúde.

Referências

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., de Brito Lima, W. B., de Araújo Padilha, C. E., Rios, N. S., & Dos Santos, E. S. (2022). Effect of enzymatic hydrolysis on digestibility and morpho-structural properties of hydrothermally pre-treated red rice starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 222, 65-76.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Feitoza, J. V. F., Muniz, C. E. S., Eduardo, R. D. S., Cavalcante, J. D. A., ... & da Costa, G. A. (2023a). Influence of Annealing Process Combined with Enzymatic Modification with Transglucosidase on Black Rice Starch. *Starch-Stärke*, 2200161.

Almeida, R. L. J., Santos, N. C., Feitoza, J. V. F., Pereira, T. S., Silva, E. R., Mota, M. A.M., ... & de Figueiredo, M. J. (2023b). Evaluation of the technological properties of rice

starch modified by high hydrostatic pressure (HHP). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103241.

Botelho, F. M., Corrêa, P. C., Goneli, A. L. D., Martins, M. A., & Baptestini, F. M. (2010). Análise da hidratação do arroz na parboilização. *Food Science and Technology*, 30, 713-718.

Burešová, I., Červenka, L., Šebestíková, R., Augustová, M., & Jarošová, A. (2023). Applicability of Flours from Pigmented and Glutinous Rice in Gluten-Free Bread Baking. *Foods*, 12(6), 1324.

Chen, X., Xu, Y., Hou, D., Zhu, W., Chen, X., Chen, P., & Du, X. (2022). Effect of heterogeneous protein distribution on in situ pasting properties of black rice starch. *LWT*, 153, 112388.

Chima, J. U., & Fasuan, T. O. (2021). Symbiotic and adverse interplay of hypogeal germination periods on brown rice (*Oryza sativa*): Nutrient and non-nutrient characteristics. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(1), 1-19.

Eyinla, T. E., Sanusi, R. A., & Maziya-Dixon, B. (2021). Effect of processing and variety on starch digestibility and glycemic index of popular foods made from cassava (*Manihot esculenta*). *Food Chemistry*, 356, 129664.

Heberle, T., Ávila, B. P., do Nascimento, L. Á., & Gularte, M. A. (2022). Consumer perception of breads made with germinated rice flour and its nutritional and technological properties. *Applied Food Research*, 2(2), 100142.

Jan, N., Naik, H. R., Gani, G., Bashir, O., Amin, T., Wani, S. M., & Sofi, S. A. (2022). Influence of replacement of wheat flour by rice flour on rheo-structural changes, in vitro starch digestibility and consumer acceptability of low-gluten pretzels. *Food Production, Processing and Nutrition*, 4(1), 1-12.

Kunyanee, K., & Luangsakul, N. (2022). The impact of heat moisture treatment on the physicochemical properties and in vitro glycemic index of rice flour with different amylose contents and associated effects on rice dumpling quality. *LWT*, 154, 112694.

Leong, S. Y., Roberts, R., Hu, Z., Bremer, P., Silcock, P., Toepfl, S., & Oey, I. (2022). Texture and in vitro starch digestion kinetics of French fries produced from potatoes (*Solanum tuberosum* L.) pre-treated with pulsed electric fields. *Applied Food Research*, 2(2), 100194.

Macedo, L. L., Corrêa, J. L. G., da Silva Araújo, C., & Cardoso, W. S. (2023). Use of Ethanol to Improve Convective Drying and Quality Preservation of Fresh and Sucrose and Coconut Sugar-impregnated Strawberries. *Food and Bioprocess Technology*, 1-15.

Maldaner, V., Coradi, P. C., Nunes, M. T., Müller, A., Carneiro, L. O., Teodoro, P. E., ... & Müller, E. I. (2021). Effects of intermittent drying on physicochemical and morphological quality of rice and endosperm of milled brown rice. *LWT*, 152, 112334.

Park, J., Oh, S. K., Chung, H. J., Shin, D. S., Choi, I., & Park, H. J. (2022). Effect of steaming and roasting on the quality and resistant starch of brown rice flour with high amylose content. *LWT*, 167, 113801.

Qadir, N., & Wani, I. A. (2023). Functional properties, antioxidant activity and in-vitro digestibility characteristics of brown and polished rice flours of Indian temperate region. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(1), 43-57.

Santos, 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. (2023). 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*, 17(1), 1033-1045.

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. (2022). Influence of ethanol and ultrasound on drying, bioactive compounds, and antioxidant activity of strawberries (*Fragaria* × *ananassa*). *Journal of the Indian Chemical Society*, 99(7), 100542.

Santos, N. C., da Silva, W. P., Barros, S. L., Almeida, R. L. J., de Brito Araújo, A. J., & da Silva Nascimento, A. P. (2020). Red rice (*Oryza sativa* L.) use in flour production: Convective drying and bioactive quality. *Journal of Food Process Engineering*, 43(10), e13490.

Silva, L. R., Velasco, J. I., & Fakhouri, F. M. (2023). Use of rice on the development of plant-based milk with antioxidant properties: From raw material to residue. *LWT*, 173, 114271.

Thuengtung, S., Ketnawa, S., Ding, Y., Cai, Y., & Ogawa, Y. (2023). Effect of mild heat-moisture treatment for harvested raw paddy rice on physicochemical properties and in vitro starch digestibility of cooked rice. *Food Hydrocolloids for Health*, 100133.

Tian, J., Cai, Y., Qin, W., Matsushita, Y., Ye, X., & Ogawa, Y. (2018). Parboiling reduced the crystallinity and in vitro digestibility of non-waxy short grain rice. *Food Chemistry*, 257, 23-28.

Wei, Q., Guo, Y., Tu, K., Zhu, X., Xie, D., & Liu, X. (2023). Eating Quality and In Vitro Digestibility of Brown Rice Improved by Ascorbic Acid Treatments. *Foods*, 12(5), 1043.

Wu, X., Zhou, Y., Lu, Q., & Liu, R. (2023). Ultrasonic-assisted immersion of parboiled treatment improves head rice yield and nutrition of black rice and provides a softer texture of cooked black rice. *Ultrasonics Sonochemistry*, 106378.

Yang, X., Chi, C., Liu, X., Zhang, Y., Zhang, H., & Wang, H. (2019). Understanding the structural and digestion changes of starch in heat-moisture treated polished rice grains with varying amylose content. *International journal of biological macromolecules*, 139, 785-792.

Yao, Y., Li, P., Deng, Y., Wei, Z., Zhang, Y., Tang, X., ... & Zhang, M. (2023). Variation in structural and in vitro starch digestion of pulse cotyledon cells imposed by temperature-pressure-moisture combinations. *Food Chemistry: X*, 100625.

ESTUDO DO CONGELAMENTO DE POLPA DE SERIGUELA E SPIRULINA

Álison Bruno Borges de Sousa* 

Autor correspondente: *alison.sousa@belojardim.ifpe.edu.br*

Introdução:

Na Zona da Mata Paraibana são encontradas naturalmente as frutíferas exóticas subutilizadas e ainda em domesticação, entre elas o gênero *Spondias* e *Hancornia* todas com enorme potencial para exploração comercial (GONDIM et al., 2013). Em relação às propriedades nutricionais, as *Spondias* são ricas em vitaminas (B1, B2, B3, A e C), minerais (cálcio, potássio, ferro e fósforo) e ainda possuem alta concentração de carotenoides e taninos, os quais estão relacionados à sua capacidade antioxidante (VIDIGAL et al., 2011).

Dentre a espécie que se destacam ao gênero está a seriguela (*Spondias purpurea* L.), planta nativa da América Central, popularmente conhecida como: ciriguela, ameixa espanhola, cajá vermelho, jacote, ciruela mexicana (SILVA, 2011). Essa fruta desponta no nordeste brasileiro como uma excelente opção econômica para inúmeros produtores. Devido sua qualidade as frutas são consumidas in natura, ou utilizadas no preparo de polpa concentrada, de bebidas fermentadas, vinho, sucos e sorvetes (FREIRE, 2001).

O uso de combinação de ingredientes com apelo de melhoria da qualidade nutricional dos alimentos é atualmente explorado devido às novas exigências dos consumidores por produtos com alto valor nutritivo e benéficos à saúde. Um dos mecanismos possíveis de se agregar valor aos frutos e seus derivados é incrementando-os através da combinação com outros ingredientes, como por exemplo as microalgas, as quais possuem alto valor proteico e de atividade antioxidante.

Dentre as microalgas, a mais comumente estudada é a *Spirulina platensis* cuja

biomassa obtida sendo investigada como fonte proteica de elevado valor biológico. Tem sido consumida como suplemento alimentar, porém o uso como componente para desenvolvimento de alimentos funcionais se mostra promissor. Assim, os estudos têm sido direcionados para a avaliação de moléculas bioativas com potenciais ações promotoras da saúde humana e animal (MORAIS et al., 2015; HADDAR et al., 2012).

Tanto a polpa de seriguela quanto a Spirulina são alimentos perecíveis e que necessitam de técnicas de conservação para garantir a manutenção da qualidade do produto durante seu período de armazenamento.

O conhecimento das propriedades térmicas de polpa congelada é essencial para calcular a distribuição de temperatura durante o congelamento e armazenamento congelado. Os engenheiros de alimentos estão interessados em prever tempos de congelamento, a fim de estimar a refrigeração, requisitos para os sistemas de congelamento e para projetar equipamento necessário para um processamento eficaz. Energia, eficiência, confiabilidade, segurança e qualidade do produto final também devem ser considerados (DELGADO e SUN, 2001).

O tempo do processo é o fator de maior criticidade para a escolha de um sistema de congelamento, devido às diferenças da temperatura inicial, no tamanho e forma dos alimentos, no ponto de congelamento e na taxa de formação dos cristais de gelo entre diferentes pontos de um mesmo alimento. Além de mudanças na densidade, condutividade térmica, calor específico e na difusividade térmica com a redução de temperatura do alimento (FELLOWS, 2006). Para a eficiência do sistema de congelamento é imprescindível o conhecimento do tempo despendido para este processo. Os requisitos para o tempo de congelamento estabelecem a capacidade do sistema e influenciam diretamente na qualidade do produto (CAVALCANTI MATA et al., 2003).

Portanto o objetivo nesta pesquisa foi estudar a cinética de congelamento de formulações contendo diferentes concentrações de maltodextrina em polpa mista de seriguela e Spirulina, em três temperaturas (-25, -50 e -75 °C), determinando sua difusividade térmica efetiva e energia de ativação.

Material e Métodos:

Utilizou-se para a realização desta pesquisa, Seriguela em estágio de

maturação maduro, adquirida em um único fornecedor no município de Campina Grande. Também empregou-se *Spruiulina platensis* em pó, obtida na Fazenda Tamanduá, Santa Terezinha-PB e maltodextrina MOR-REX®1910, dextrose equivalente 10 da Ingredion.

Após as etapas de seleção, lavagem e higienização em água clorada a 50 ppm de cloro ativo por 15 minutos, os frutos foram despulpados em despulpadeira horizontal com malha de 2 mm de abertura com o intuito de obter um produto uniforme. A polpa foi homogeneizada e embalada em sacos de polietileno de baixa densidade com volume de 200 mL, em seguida congelada e armazenada em câmara frigorífica a -18 °C até o momento da realização do experimento.

As amostras foram distribuídas em sacos de polietileno, contendo aproximadamente 100 gramas de amostra, seladas e medidas o comprimento, largura e altura em milímetros da amostra a ser congelada.

Visando determinar a curva de congelamento introduziu-se no centro geométrico da placa plana um termopar de 0,2 mm de diâmetro acoplado a um registrador Digi-Sensi de dois canais; o outro termopar foi introduzido no interior da unidade de congelamento cuja finalidade foi monitorar o meio congelante, de modo a se determinar o instante de equilíbrio térmico para cada temperatura de congelamento.

Para o estudo da cinética de congelamento das formulações na temperatura de -25 ± 2 °C, foi utilizado um freezer horizontal e os dados coletados a cada 60 segundos, para as temperaturas de -50 e -75 ± 2 °C utilizou-se um balcão criogênico horizontal e os dados foram obtidos a cada 10 s. Todos os dados foram coletados em triplicata.

Aplicou-se aos dados experimentais a Lei de Fourier, onde o número de Fourier (F0) é o tempo adimensional, em função do comprimento característico L para superfície plana, ou do raio externo para cilindros ou esferas, conforme Equação 3.1:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (3.1)$$

Para calcular a transferência de calor, em regime transiente, cuja forma se assemelha a uma placa plana de espessura $2L$, pequena em função do tamanho da mesma, ou seja, placa infinita, inicialmente à temperatura T_i é subitamente colocada em um meio fluido com temperatura T_{inf} , ocorrerá transferência de energia por condução e convecção entre o corpo e o meio, sendo a distribuição de temperatura T_x numa posição “x” qualquer, desse corpo, uma função do tempo, fornecida pela Equação abaixo que equivale ao modelo de Fourier:

$$RT = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cdot \exp(\sigma_n^2 - F_0) \quad (3.2)$$

Em que:

$$A_n = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \cos \sigma_1} \quad (3.3)$$

$$F_0 = \left(\frac{\alpha}{L^2} \right) t \quad (3.4)$$

Para $n=1$ a equação se torna:

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \cos \sigma_1} \exp \left(\frac{\sigma_1^2 \cdot \alpha}{L^2} \cdot t \right) \quad (3.5)$$

Onde:

$$A_1 = \frac{2 \cdot \text{sen} \sigma_1}{\sigma_1 + \text{sen} \sigma_1 \cdot \cos \sigma_1} \quad (3.6)$$

$$A_2 = \left(\frac{\sigma_1^2 \cdot \alpha}{L^2} \right) \quad (3.7)$$

Em que, RT - Razão de temperatura, adimensional; T - Temperatura em cada momento, °C; T_{∞} - Temperatura do meio de congelamento, °C; T_0 - Temperatura inicial do produto, °C; A_n - Coeficiente que depende do produto; σ_n - raiz transcendental; F_0 - Número de Fourier, adimensional; α - difusividade térmica efetiva, $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$; L - espessura da amostra de $L/2$, mm; t - tempo, s.

Para o ajuste do modelo foram realizadas análises de regressão não linear, pelo método Gauss-Newton. Para cada modelo foi considerado o coeficiente de determinação (R^2), utilizando o Software STATISTICA 7.0®.

Resultados e Discussão

Observam-se na Figura 3.2 as curvas de congelamento para polpa de seriguela com *Spirulina* sem adição de maltodextrina nas temperaturas de -25, -50 e -75 °C. Verificou-se a presença das três fases do congelamento, sendo a fase I (resfriamento), fase II (cristalização ou congelamento) e a fase III (pós-congelamento). Comportamento similar ao que ocorre no congelamento da água pura, podendo-se justificar pelo alto teor de água do material (80,34%).

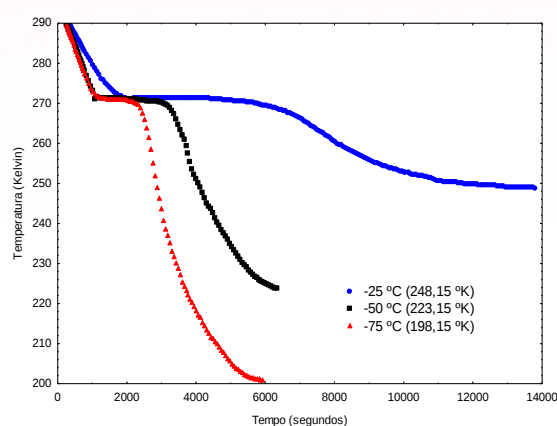


Figura 1. Curva de congelamento dos dados experimentais para polpa mista de seriguela e *Spirulina platensis*

A fase I compreende a etapa de resfriamento do produto até o início do congelamento. Para a temperatura de -25 °C o controle obteve-se tempo de 1.600 segundos, enquanto que nas temperaturas de -50 °C e -75 °C os tempos da fase I foram menores.

A temperatura de início de congelamento (Tic) foi determinada quando se deu início a Fase II (nucleação). Os valores de Tic encontrados para o Controle foram de -1,7; -1,8 e -1,9 °C, respectivamente para -25, -50 e -75 °C. Os valores experimentais determinados estão coerentes com os especificados na literatura: polpa de morango congelada a -20 °C apresentou Tic = -0,7 °C (FERNANDES et al., 2010); congelamento de mangaba obteve Tic = -1,0 °C (SOARES et al., 2012); e o congelamento de polpa de acerola a -25 °C exibiu Tic = -1,1°C (PEREIRA, 2013).

A temperatura de início do congelamento de soluções ideais de mono e bicomponentes pode ser descrita pela lei de Raoult e a especificidade de polpas de frutas, principalmente com adição de sólidos, necessita de investigações específica para o estudo da temperatura do início de congelamento para cada produto. Tic para

sistemas de polpas de frutas depende dos mesmos fatores descritos para as soluções ideais, sendo o teor de sólidos de importância básica. Quanto mais alto for o teor de sólido mais baixo será o ponto de congelamento incipiente (FERREIRA; GUIMARÃES e MAIA, 2007).

Durante a Fase II, acontece o congelamento propriamente dito da água no material biológico, sua nucleação. Nesta fase ocorre o aumento dos cristais de gelo e remoção do calor latente, assim como o aumento da concentração dos sólidos solúveis (SOARES et al., 2012). O tempo total de cristalização reduziu proporcionalmente à redução de temperatura de congelamento, constatando-se valores de 3.420 s (-25 °C), 1.920 s (-50 °C) e 1.200 s (-75 °C).

A Fase III corresponde ao pós-congelamento, no qual acontece a diminuição de temperatura do produto já congelado (CAVALCANTI MATA et al., 2005). O tempo total registrado foi de 11.820, 4.500 e 4.440 segundos para -25, -50 e -75 °C, respectivamente. O tempo de cristalização reduziu com o aumentou do gradiente de temperatura, como esperado. As temperaturas de -50 e -75 °C apresentaram comportamento semelhante para esta fase.

Estudos científicos sobre o comportamento do congelamento de frutos corroboram com a verificação as três fases bem definidas. Como observado por Araújo, Braga e Cavalcanti Mata (2000) em cinética de congelamento de polpa de acerola a baixas temperaturas; por Cavalcanti Mata, Braga e Silva (2003) no congelamento de frutos de cajá a temperaturas semi-criogênicas; por Cavalcanti Mata et al. (2005) no congelamento de polpa de graviola a -50 °C.

Na Tabela 3.2 encontram-se os parâmetros de espessura (L), fator de atraso (J) coeficiente de difusão, coeficiente do modelo (K), difusividade efetiva (α), difusividade efetiva média, coeficiente de determinação (R^2), erro médio estimado (SE) e erro médio relativo (P%) desvio-padrão da estimativa para polpa de seriguela com *Spirulina* nos estágios de congelamento a -25, -50 e -75 °C.

Verificou-se que os valores de difusividade efetiva média nas formulações aumentaram com a redução da temperatura de congelamento. O valor da difusividade média obtido na temperatura de -25 °C foi de 1,19 mm².s⁻¹, enquanto que para a temperatura de -75 °C foi de 2,81 mm².s⁻¹. Tem-se que a difusividade térmica efetiva média é mais elevada quando o produto é submetido a um gradiente

térmico maior, ou seja, a difusividade térmica aumenta com a diminuição de temperatura de congelamento. Araújo, Braga e Cavalcanti Mata (2000) obtiveram valores de difusividade média de 1,23, 10,77 e 39,32 mm².s⁻¹ para polpa de acerola congelada à -22,6°C, -100°C e -196°C respectivamente.

O fator de atraso (J) nas Fases I e III apresentaram valores acima do ciclo logarítmico, enquanto que na Fase II, os valores de J mantiveram-se abaixo do ciclo logarítmico refletindo em influência não significativa na α_m .

Na figura 2 encontra-se a relação da difusividade térmica efetiva em função da temperatura em K. A equação utilizada foi a de Arrhenius, empregada para explicar as reações químicas. A ocorrência de uma reação química está relacionada, obrigatoriamente, com o contato entre as moléculas reagentes e a uma energia mínima necessária. Esta energia mínima para a ocorrência da reação é chamada energia de ativação (Ea); portanto, pode-se utilizar a equação de Arrhenius para determinar a energia de ativação do processo de congelamento, entendendo que esta seria a energia mínima necessária para que ocorram os rearranjos moleculares com vista à formação das estruturas congeladas (CAVALCANTI-MATA et al., 2012). Podendo assim ser aplicada ao congelamento da polpa mista de seriguela com *Spirulina platensis*.

Tabela 3.2. Parâmetros e coeficientes do modelo de Fourier na cinética de congelamento da polpa de seriguela com *Spirulina platensis* in natura (Controle) nas temperaturas de -25° C, -50° C, -75° C.

Formulação	Temperatura (°C)	Fases	L/2 (mm)	J	K	α (mm ² .s ⁻¹)	α média (mm ² .s ⁻¹)	R ²	SE	P(%)
Controle	-25° C	I		1,01	1,25x10 ⁻⁴	1,10		98,65	0,0001	0,0000
		II	9,35	-	-	-	1,19	-	-	-
		III		1,01	1,95x10 ⁻⁴	1,70		96,37	0,0010	0,0275
	-50° C	I		1,01	1,58x10 ⁻⁴	1,32		98,12	0,0001	0,0001
		II	9,15	-	-	-	1,98	-	-	-
		III		1,01	4,15x10 ⁻⁴	3,47		96,87	0,0015	0,0597
	-75° C	I		1,01	1,69x10 ⁻⁴	1,13		99,25	0,0003	0,0002
		II	9,50	-		-	2,81	-	-	-
		III		1,01	4,59x10 ⁻⁴	4,15		98,95	0,0006	0,0452

Conclusões

Foi possível verificar as três fases do processo de congelamento bem definidas nas amostras, fase I (pré-congelamento), fase II (cristalização) e fase III (pós-congelamento) em todas as temperaturas estudadas. Ressalta-se que quanto mais alta a temperatura, mais distintas encontravam-se as fases de congelamento. O tempo de congelamento foi inversamente proporcional ao gradiente térmico, ou seja, quanto maior o gradiente térmico, menor o tempo de congelamento das amostras de polpa mista de seriguela com *Spirulina platensis*, para as temperaturas de -25, -50 e -75 °C. A difusividade média efetiva da polpa mista de seriguela com *Spirulina platensis* aumentou com a diminuição da temperatura de congelamento, sendo os coeficientes de determinação superiores a 96,80%. A foi crescente à medida que se adicionou maltodextrina na polpa mista de seriguela com *Spirulina platensis*. A equação de Arrhenius se ajustou bem aos dados da energia de ativação, com coeficientes de determinação superiores a 88,41%.

Referências

- ARAÚJO, M. S. O.; BRAGA, M. E. D.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. Cinética de congelamento de polpa de acerola a baixas temperaturas. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.2, n.1, p.27-34, 2000.
- BODNER, G. M.; NAKHLEH, M. B.; ROBINSON, W. R. Activation energy. The chemical education web site. Division of Chemical Education at Purdue University, West Lafayette, IN, USA. In: <http://w3.ufsm.br/juca/activate.htm>. 19 Abr. 2018.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M. MORAIS, J. O.; DUARTE, M. E. M.; FARIAS, P. A.; QUEIROZ, A. J. M. Cinética de congelamento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.6, p.667-674, 2012.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lutea* L.). Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande Especial, n.1, p.55-62, 2003.
- CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; DUARTE, M. E. M., ALSEMO, G. C. S., RODRIGUES, E., GUEDES, M. A., CAVALCANTI, A. S. R. R. M.; OLIVEIRA, C. C. A. Obtenção de Graviola

em pó pelo processo de Liofilização. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 7, n.2, p.165-172, 2005.

DELGADO, A.E.; SUN, D.W. Heat and mass transfer models for predicting freezing process - a review. *Journal of Food Engineering*, Davis, v. 47, p. 157-174, 2001.

FELLOWS, P. J. *Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática*. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 430 p.

FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; RENO, M. J. Relação entre o comportamento reológico e a dinâmica do congelamento e descongelamento de polpa de morango adicionada de sacarose e pectina. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v. 30, n. 1, p. 188-204, jan-mar, 2010.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. Interações sinérgicas entre polpa de fruta e polissacarídeos em cisalhamento estacionário e dinâmico. In: *ENCONTRO REGIONAL SUL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS*, 9, 2007, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Editora TecArt, 2007. p. 654-660.

FREIRE, F. C. O. Uso da manipueira no controle do oídio da cerigueleira: resultados e preliminares. *Comunicado Técnico*, v. 70, p.1-3, 2001.

GONDIM, P. J. S.; SILVA, S. M.; PEREIRA, W. E.; DANTAS, A. L.; CHAVES NETO, J. R.; SANTOS, L. F. Qualidade de frutas de acessos de umbu-cajazeira (*Spondias* sp.). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, p. 1217-1221, 2013.

MORAIS, M. G.; VAZ, B. S.; MORAIS, E. G.; COSTA, J. A. V. Biologically active metabolites synthesized by microalgae (Report). *BioMed Research International*, v. 2015, p. 1-15, 2015.

PEREIRA, C. G. Propriedades termofísicas e comportamento reológico de polpa de acerola em diferentes concentrações e temperaturas. 2013. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais.

SILVA, B. M., SANTOS, R. P., MENDES, L. S., PINHO, P. G., VALENTÃO, P., ANDRADE, P. B., et al. *Dracaena draco* L. fruit: phytochemical and antioxidant activity assessment. *Food Research International*, v. 44, p. 2182-2189, 2011.

SOARES, D. S. C.; SANTOS, J. T. S.; CAMPOS, A. F. P.; COSTA, F. S. C.; NUNES, T. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. M. Avaliação do congelamento de mangada (*Hancornia Speciosa* Gomes) em ultrafreezer através dos modelos matemáticos de Planck e Pham. *Scientia Plena*, v. 8, n. 4, 2012.

VIDIGAL, M. C.T. R.; MINIM, V. P. R.; CARVALHO, N. B.; MILAGRES, M. P.; GONÇALVES, A. C. A. Effect a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: acai (*Euterpe oleracea*), camu-camu (*Myrciaria dubia*), cajá (*Spondias lutea* L.) and umbu (*Spondias tuberosa* A.). *Food Research International*, v. 44, nº 7, p.1988 – 1996, 2011.

MEL E FRUTAS ALÉM DO ÓBVIO: PRODUÇÃO DE HIDRÔMEIS COMO ATIVIDADE ECONÔMICA NO NORDESTE BRASILEIRO

Patrícia Santos da Silva¹ 

¹Embrapa Tabuleiros Costeiros

Autor correspondente: patricia.s.silva@embrapa.br

1 Introdução

O mel é um produto natural utilizado desde os primórdios da humanidade, tendo adquirido popularidade entre os Egípcios, Árabes, Gregos e outras civilizações. Seu consumo vai além do uso na dieta humana, sendo aplicado também como medicamento, devido às suas propriedades antissépticas; como conservante de frutas e grãos; além de ser utilizado pela indústria de cosméticos (ARAÚJO, 2021). Em 2021, o Brasil produziu 55,8 mil toneladas de mel apícola (BRASIL, 2022). Contudo, a maior parte de todo mel produzido no país é destinada ao mercado externo (FAO, 2020). O Nordeste ocupa o segundo lugar na produção brasileira de mel apícola, tendo produzido 20,2 mil toneladas em 2021 (BRASIL, 2022).

A diversidade de climas e microclimas faz com que o Brasil seja considerado o país perfeito para a produção de frutas, sendo o terceiro maior produtor do mundo, com 40 milhões de toneladas de frutas produzidas em 2020, ficando atrás apenas da China e da Índia. O Nordeste do Brasil detém as maiores áreas cultivadas com fruticultura, no país (FAO, 2020, DE PAULA 2012). Porém, cerca de 30 a 40% dos frutos produzidos nacionalmente são desperdiçados. Em razão disso, é importante ter alternativas para evitar desperdícios e aumentar o rendimento financeiro dos agricultores (DE PAULA, 2012).

Dentre as opções para viabilizar e diversificar as atividades do setor agropecuário, principalmente na agricultura familiar, uma ainda não explorada no Nordeste brasileiro, é a produção de hidromel ou “vinho de mel”, como também é chamado. Trata-se de uma bebida milenar, tradicionalmente consumida em países da Europa, Ásia e África (NAKADA, 2020), obtida por meio da fermentação

alcoólica do mel diluído em água e enriquecido com sais minerais, devido à ação de leveduras do gênero *Saccharomyces*, podendo ser elaborada de maneira artesanal e sem a necessidade de equipamentos sofisticados (BRASIL,2009; FEY et. al.,2020; MORAES et. al., 2018). Porém, no Brasil, essa bebida é pouco conhecida e as pequenas produções que existem, concentram-se no Sul e Sudeste do país. (NAKADA, 2020)

De acordo com o BEER JUDGE CERTIFICATION PROGRAM (BJCP, 2015), o qual possui uma edição com diretrizes para a produção de hidroméis, existem várias categorias da bebida, produzidas e consumidas no mundo, variando de acordo com os aditivos incorporados para realçar o sabor ou até mesmo para a obtenção de um produto diferenciado e único, indo desde o “Tradicional”, o qual apresenta sabor próprio de mel, sem nenhum aditivo; “Metheglin”, o qual é adicionado de ervas e especiarias; “Cyser”, hidromel adicionado de maçãs ou suco da fruta; “Pymment”, adicionado de uva ou suco de uva; “Melomel”, no qual são adicionadas frutas, exceto uva e maçã, com diversas possibilidades de produto; até o “Rhodomel”, o qual é aromatizado com pétalas de rosas.

A incorporação de frutos tropicais na produção de hidromel, pode incrementar características sensoriais, além de transferir compostos fenólicos e aromáticos da fruta para a bebida (AMORIM et. al.,2018; SAVI et. al., 2021), e ainda aprimorar o processo fermentativo, fornecendo nutrientes para as leveduras.¹⁰ Além disso, bebidas fermentadas, tendo frutas (ou partes delas) como adjuntas, têm um valor agregado bem maior para o produtor do que a fruta comercializada na sua forma natural (DE PAULA, 2012). A acerola (*Malpighia emarginata* Sessé & Moc. ex. DC.), por exemplo, é uma fruta produzida em larga escala no Nordeste brasileiro, sendo rica em vitamina C e outros compostos bioativos, como a rutina (DALA-PAULA, 2019).

Existem no mercado nacional, hidroméis elaborados com a adição de frutas diversas, pertencendo a bebida às categorias “Melomel” ou “Pymment”, a depender da fruta utilizada, como os produzidos pela Norseman hidromel, localizada em São Leopoldo-RS, a qual possui em seu portfólio, além do hidromel tradicional, outros estilos como o melomel de laranja, com valores a partir de R\$ 60, por garrafa com 750mL (NOSERMAN HIDROMEL,2023). Já a Be.Hive, fundada em 2017, empresa localizada no Rio de Janeiro, produz hidroméis que custam R\$ 100, por garrafa.

Entre os estilos, também existem aqueles produzidos com frutas tropicais, como jabuticaba (BE-HIVE,2023). A Companhia dos Fermentados, empresa paulista, produz e comercializa o hidromel com framboesas orgânicas, produzidas na Serra da Mantiqueira/SP, ao valor de R\$ 139 a garrafa com 700mL, mostrando o potencial comercial dessas bebidas (COMPANHIA DOS FERMENTADOS, 2023).

Visto que, apesar da diversidade de matérias primas disponíveis, há poucos registros de produção comercial de hidromel no Nordeste brasileiro, esse estudo teve como objetivo apresentar a produção de hidroméis nos estilos tradicional e melomel de acerola, como uma atividade econômica viável para agregar valor aos méis e frutas regionais. A produção dos hidroméis foi executada com o uso de utensílios e instrumentos de medição simples, sendo a maioria deles encontrados em mercados especializados em insumos para a produção de cervejas artesanais (brew shop).

2 Material e Métodos

2.1 Produção dos hidroméis

Foram produzidos dois estilos de hidromel: tradicional e melomel, sendo o primeiro produzido com os ingredientes básicos (mel apícola, água e levedura) e no segundo, foram adicionados frutos de acerola, totalizando dois tratamentos. O mel apícola (77,5°Brix) e os frutos maduros de acerola, utilizados no presente estudo, foram adquiridos de pequenos apicultores e produtores dos municípios de Ribeira do Pombal-BA (coordenadas 10°50'33"S; 38°31'57"O) e Nossa Senhora do Socorro-SE (coordenadas 10°51'18" S; 37°07'33"O), respectivamente.

O mosto (2 L), de cada estilo de hidromel, foi formulado conforme Fey e et. al., 2020, com algumas variações na metodologia, a fim de avaliar as possibilidades de produção. Para a elaboração do hidromel tradicional, mosto foi constituído de mel diluído em água até atingir 25 °Brix, densidade de 1.102 g/L e pH de 4,6; 0,05% (m/v) de nutrientes para leveduras (difosfato de amônio, sulfato de amônia e vitamina B1), da marca Coccitech® Start Plus (Coccitech SRL, Treviso, Itália) e 1,1 g/L de levedura *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada Lalvin® K1-V116 (Lallemand, Montreal-Quebec, Canadá). A fermentação desse tratamento ocorreu em balde de polipropileno (Figura 1), a 29,3°C, durante 192 h.

Para a produção do melomel de acerola, o mel foi diluído em água até atingir 21,5 °Brix, densidade de 1.089 g/L e pH de 4,3; 0,03% (m/v) de nutrientes para leveduras (difosfato de amônio, sulfato de amônia e vitamina B1), da marca Fermocel® (AEB Bioquímica Latino Americana S.A, São José dos Pinhais, PR, Brasil); 1,0 g/L de levedura *Saccharomyces cerevisiae* liofilizada Montrachet Red Star® (Fermentis, Marcq-en-Barœul, França), e 10% (m/v) de polpa de acerola. A fermentação também ocorreu em balde de polipropileno a 29,5°C, durante 144 h.



Figura 1- Balde fermentador com termômetro e selo d'água (*air lock*) acoplados.

Terminadas as fermentações, os hidroméis foram transferidos para outro balde, tendo-se o cuidado de separar o fermentado dos resíduos sólidos depositados no fundo de cada fermentador. Em seguida, os baldes com cada estilo de hidromel foram mantidos sob refrigeração (10°C), para maturação, durante 30 dias. Logo após, os hidroméis foram envasados em garrafas de vidro verde, do tipo “Bordalesa”, e mantidos a 10°C até o momento das análises (FEY et. al., 2020; MORAES, 2018)

2.2 Análises físico-químicas das bebidas

As bebidas foram analisadas, em triplicata, para sólidos solúveis (°Brix), por leitura direta em refratômetro analógico, a 20°C; densidade (g/L), por meio de leitura direta com densímetro de bulbo, a 20°C; pH, por leitura direta com pHmetro portátil, conforme os métodos da International Organisation of Vine and Wine (OIV, 2021) ; e teor alcoólico, estimado por meio das equações de Hall, as

quais consideram a diferença entre medidas sucessivas de densidade específica para calcular o conteúdo de álcool (HALL, 1995)

2.3 Custos de produção e investimento inicial

Os custos de produção foram calculados levando-se em consideração a aquisição das matérias-primas e insumos para o envase das bebidas. Também foi realizado orçamento para investimento mínimo necessário, que o produtor deve realizar, para a compra de utensílios e instrumentos básicos de medição, a fim de iniciar uma produção artesanal.

3 Resultados e Discussão

3.1 Caracterização físico-química dos hidroméis

Os valores obtidos com as análises do hidromel tradicional e do melomel de acerola estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises físico-químicas dos dois estilos de hidromel.

Parâmetros	Hidromel tradicional	Melomel de acerola
Sólidos solúveis (°Brix)	10,00 ± 0,00	7,87 ± 0,12
Teor alcoólico (% v/v)	14,30 ± 0,09	12,36 ± 0,06
Densidade (g/L)	1.001,00 ± 0,07	1.000,00 ± 0,00
pH	4,20 ± 0,14	3,41 ± 0,01

Os valores de teor alcoólico apresentados pelas duas categorias de hidromel produzidas, estão de acordo com a Legislação brasileira, a qual estabelece teor alcoólico entre 4% e 14% para hidroméis (BRASIL, 2009). Os demais parâmetros não são padronizados pela referida legislação, no entanto, seu acompanhamento é imprescindível para revelar o andamento da fermentação, além de características sensoriais da bebida (MORAES, 2018; BJCP,2015).

Ao comparar esses resultados com os disponíveis na literatura, observou-se a produção de hidromel tradicional de Fey e et. al.,2020, com valores de teor alcoólico e densidade de 12,76% (v/v) e 1.020 g/L, respectivamente. No entanto, a

fermentação executada por esses autores durou 480h, sendo 2,5 vezes maior do que o tempo aplicado na atual pesquisa (192h) para esse estilo de hidromel.

Nos estudos de Amorim et. al., 2018, foram elaborados hidromel tradicional e meloméis de acerola com diferentes concentrações de polpa da fruta (10%, 15%, 25% e 30%), obtendo teores alcoólicos de 14,7%(v/v) para o estilo tradicional e de 15,2% a 16,6% (v/v) para os meloméis, após 288h de fermentação, sendo esse o dobro do tempo adotado no atual estudo (144h), para a produção do melomel de acerola. Enquanto, na formulação de hidromel tradicional e meloméis com diferentes concentrações de suco de amora (5%, 10%, e 20% v/v), elaboradas por Savić e et. al., 2021, foram observados resultados inferiores ao do atual estudo para teor alcoólico (6,93% - 7,98% v/v) e pH (3,07-3,30), em 240h de fermentação.

3.2. Custos de produção

As Tabelas 2 e 3 mostram os custos de produção dos hidroméis, por garrafa com 750mL (Figura 2B) para cada estilo de hidromel produzido (tradicional e melomel, respectivamente), com base apenas nos gastos com os ingredientes e a embalagem.



Figura 2- Aspecto do melomel de acerola (à esquerda) e do hidromel tradicional (à direita) (A); Bebida engarrafada (750mL) (B).

Tabela 2- Custos de produção por garrafa (750mL) de hidromel tradicional*

Ingredientes/ Insumos	Quantidade	Hidromel tradicional
Mel apícola	241g	R\$ 6,89

Água mineral	509 mL	R\$ 0,28
Levedura liofilizada	0,83 g	R\$ 2,90
Ativante de fermentação	0,31 g	R\$ 0,06
Garrafa de vidro (750mL)	01 unid.	R\$ 5,90
Rolha de cortiça	01 unid.	R\$ 0,65
Cápsula para garrafa	01 unid.	R\$ 0,25
Custo de Total	-	R\$ 16,93

* Valores orçados em agosto de 2023. Fonte:

<https://www.lamasbrewshop.com.br/> e <https://www.indupropil.com.br/> (exceto para mel e água mineral).

Tabela 3- Custos de produção por garrafa (750mL) de melomel de acerola*

Ingredientes/ Insumos	Quantidade	Melomel de acerola
Mel apícola	237 g	R\$ 6,77
Água mineral	582 mL	R\$ 0,32
Levedura liofilizada	0,72 g	R\$ 2,28
Ativante de fermentação	0,23 g	R\$ 0,04
Acerola	75 g	R\$ 0,75
Garrafa de vidro (750mL)	01 unid.	R\$ 5,90
Rolha de cortiça	01 unid.	R\$ 0,65
Cápsula para garrafa	01 unid.	R\$ 0,25
Custo de Total	-	R\$ 16,46

* Valores orçados em agosto de 2023. Fonte:

<https://www.lamasbrewshop.com.br/> e <https://www.indupropil.com.br/> (exceto para mel, água e acerola).

O melomel de acerola apresentou um custo inferior ao do hidromel tradicional, por usar uma proporção menor de mel, levedura e ativante de fermentação; além da diferença nos preços desses dois últimos insumos, utilizados nas produções.

Deve-se levar em consideração que os valores apresentados se referem à produção artesanal (ou caseira) e não comportam as despesas com mão de obra, energia elétrica, fermentador, instrumentos de medição, equipamentos analíticos, e outros utensílios necessários para o início da produção. Vale ressaltar que os custos para uma produção industrial são maiores.

Por isso, Nakada et. al., 2020, avaliando a viabilidade de implantação de uma indústria de hidromel em território brasileiro, apresentaram os gastos de produção, considerando as despesas fixas (água, mão de obra, energia elétrica, material de expediente, entre outros) e as despesas variáveis (matéria-prima e insumos para envase), as quais podem mudar conforme a quantidade produzida. De acordo com os autores, o custo total para produzir hidromel tradicional ficaria em torno de R\$ 31,42, por litro.

Considerando que o valor mínimo, no mercado brasileiro, de uma garrafa de hidromel com 750mL, é de R\$ 60 (NOSERMAN HIDROMEL,2023), os custos de produção apresentados neste estudo e as despesas relatadas na literatura (NAKADA et. al., 2020) mostram que a produção comercial de hidromel pode ser rentável, permitindo que pequenos produtores e apicultores possam expandir e diversificar a oferta de produtos provenientes do mel e de frutas. É importante destacar que, para comercialização, os hidroméis têm que ser registrados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

O produtor que desejar iniciar uma fabricação artesanal de hidromel deve investir, inicialmente, na compra de utensílios e instrumentos para a avaliação de parâmetros básicos das bebidas, sendo esses materiais apresentados na Figura 3 e as médias de preços deles, mostradas na Tabela 4.



Figura 3- Utensílios e instrumentos para produção artesanal de hidromel. (A) Balde fermentador 20L; (B) Medidor de pH digital portátil; (C) Refratômetro 0-90°Brix; (D) Densímetro de massa específica 1000-1200 g/L; (E) Balança digital capacidade máxima 10kg; (F) Balança de precisão capacidade máxima 300g; (G) Termômetro adesivo para balde fermentador e (H) Termômetro digital espeto -50°C – 150°C. Fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/>; <https://www.lamasbrewshop.com.br/> e <https://www.indupropil.com.br/>.

Tabela 4- Custo de materiais básicos necessários para a produção de hidromel.

Utensílio / Instrumento	Valor (R\$)*
Balde fermentador (20L)	94,00
Medidor de pH digital	61,74
Refratômetro (0-90°Brix)	160,00
Densímetro (1000-1200 g/L)	55,32
Balança digital (0-10kg)	36,28
Balança de precisão (0-300g)	37,82
Termômetro adesivo cristal líquido	14,97
Termômetro digital espeto (-50°C - 300°C)	61,48
Custo de Total	R\$ 521,56

* Valores médios orçados em agosto de 2023, nos sites: <https://lista.mercadolivre.com.br/>; <https://www.lamasbrewshop.com.br/> e <https://www.indupropil.com.br/>

4 Conclusões

Os valores de teor alcoólico do hidromel tradicional, $14,30 \pm 0,09$ % v/v e do melomel de acerola, $12,36 \pm 0,06$ %v/v estão de acordo com a Legislação brasileira, a qual estabelece teor alcoólico entre 4% e 14% para hidroméis. Diante dos fatos apresentados e dos resultados obtidos, observa-se que a produção de hidromel, seja artesanalmente ou em escala industrial, é um nicho de mercado a ser explorado em território brasileiro, principalmente na Região Nordeste, a qual é tão rica em diversidade de méis e frutas. Tal prática permite agregar valor a essas matérias-primas locais e de fácil aquisição, expandindo as possibilidades de atividade econômica e gerando lucro, além de reduzir o prejuízo para o produtor por perda de frutas no período de pós-colheita.

Referências

Araújo, G.S., Sampaio, K.F., Santos, F.S., Bastos, T.S., Oliveira, P.P., de Carvalho, G.B.M., de Souza, S.M.A., & Martínez, E.A. (2021). Biochemical, physicochemical and melissopalynological analyses of two multi-floral honey types from Brazil and their influence on mead production. *Journal of Apicultural Research*, 60(5), 784-796.

Brasil. (2022). Pesquisa Pecuária Municipal. Recuperado em 28 de agosto de 2023, de <https://sidra.ibge.gov.br/Tabela/74>.

Food and Agriculture Organization (FAO). (2020). Food Balance. Recuperado em 01 de agosto de 2023, de <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/FBS>.

de Paula, B., Carvalho Filho, C. D., Matta, V. M., Menezes, J.S., Lima, P.C., Pinto, C.O., & Conceição, L.E.M.G. (2012). Produção e caracterização físico-química de fermentado de umbu. *Ciência Rural*, 42(9), 1688-1693.

Nakada, J.P., Caciatori, L.U., & Pandolfi, M.A.C. (2020). Viabilidade da implantação de uma indústria produtora de hidromel. *Interface Tecnológica*, 17(1), 431-443.
Brasil. Presidência da República. (2009). Decreto nº 6.871. *Diário Oficial da União*, Seção 1, p.20.

Fey, G.G., Cardoso Jr., M.R., Mileski, J.P.F., Lucchetta, L., Morés, S., Rocha, E.C., & Tonial, I.B. (2020). Characterization and volatile compounds of fresh and aged mead in different types of Wood. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 25812-25826.

Moraes, L.F. (2018). *O guia do hidromel artesanal* (1ª ed.). São Paulo: Livraria da Física.

Beer Judge Certification Program (BJCP). (2015). Mead Style Guidelines. Recuperado em 28 de agosto de 2023, de <https://www.bjcp.org/styles04/>.

Amorim, T.S., Lopes, S.B., Bispo, J.A.C., Bonafe, C.F.S., Carvalho, G.B.M., & Martínez, E.A. (2018). Influence of acerola pulp concentration on mead production by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI 796. *LWT- Food Science and Technology*, 97, 561-569.

Savić, A., Velemir, A., Papuga, S., & Stojković, M. (2021). Influence of blackberry juice addition on mead fermentation and quality. *Food and Raw Materials*, 9(1), 146-152.

Dala-Paula, B.M., Santos, T.P., Araújo, L.S., Bastos, R.S.A., Moraes, J.O., & Carbonera, N. (2019). Domestic processing and storage on the physical-chemical characteristics of acerola juice (*Malpighia glabra* L.). *Ciência e Agrotecnologia*.

Noserman Hidromel. (2023). Produtos. Recuperado em 01 de agosto de 2023, de <https://www.loja.noserman.com.br>.

Be.Hive. (2023). Nossos produtos. Recuperado em 01 de agosto de 2023, de <https://www.behivemead.com>.

Companhia dos Fermentados. (2023). Hidromel. Recuperado em 01 de agosto de 2023, de <https://www.ciadosfermentados.com.br/collections/hidromel>.

OIV. (2021). Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis (Edition 2021, vol. 1). Recuperado em 01 de agosto de 2023, de <https://www.oiv.int/public/medias/7907/oiv-vol1-compendium-of-international-methods-of-analysis.pdf>.

Hall, M.L. (1995). Brew by the numbers: Add up what's in your beer. *Zymurgy*, 18, 54-61.



AGRON FOOD
ACADEMY

ISBN 978-658506209-1

