

ESCOLA SESI DJALMA PESSOA

**POTENCIAL DA FARINHA DA AMÊNDOA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA L.*)
COMO ALTERNATIVA AO CACAU (*THEOBROMA CACAO*) NA PRODUÇÃO DE
CHOCOLATES**

Salvador, Bahia

2025



Kellyane Batista Macedo de São José

Samira Almeida Custódio

Danielle Figueredo da Silva

Camila Santiago Hohenfeld

**POTENCIAL DA FARINHA DA AMÊNDOA DE MANGA (*MANGIFERA INDICA L.*) COMO
ALTERNATIVA AO CACAU (*THEOBROMA CACAO*) NA PRODUÇÃO DE CHOCOLATE**

Relatório apresentado à 9ª FEMIC - Feira
Mineira de Iniciação Científica.

Orientação do Prof. Camila Santiago Hohenfeld
e coorientação de Danielle Figueredo da Silva.

Salvador, Bahia

2025



RESUMO

O aumento do consumo global de chocolate tem impulsionado a busca por alternativas sustentáveis ao cacau (*Theobroma cacao*), cuja produção é vulnerável a variações climáticas e pressões socioeconômicas. Nesse contexto, a amêndoa do caroço de manga (*Mangifera indica* L.), subproduto abundante da agroindústria, surge como fonte promissora de compostos bioativos e matéria-prima para novos ingredientes alimentícios. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da farinha obtida da amêndoa da manga como substituto parcial do cacau, considerando seus aspectos físico-químicos, funcionais e biológicos. A farinha foi submetida à extração assistida por ultrassom com metanol, obtendo rendimento de 8,4%. A análise espectrofotométrica revelou 143,91 mg EAG/g de compostos fenólicos totais e 6,37 mg EQ/g de flavonoides, indicando predominância de ácidos fenólicos e potencial antioxidante expressivo. Ensaio de viabilidade celular (ISO 10993-5:2009) demonstraram que o extrato apresenta baixa citotoxicidade em concentrações inferiores a 250 µg/mL, reforçando sua segurança biológica para aplicações alimentares. A análise FTIR evidenciou modificações estruturais após a autoclavagem, como hidrólise parcial e oxidação leve, sem comprometimento significativo da integridade química da amostra, sugerindo estabilidade térmica adequada para processos de fabricação. Os resultados demonstram que a farinha da amêndoa de manga é rica em compostos fenólicos, quimicamente estável e biocompatível em baixas concentrações, características que sustentam seu uso como ingrediente funcional e substituto sustentável do cacau. Além de agregar valor nutricional, o aproveitamento desse resíduo contribui para a redução de impactos ambientais e para o desenvolvimento de produtos inovadores, alinhando-se aos princípios da economia circular e da biotecnologia verde.

Palavras-chave: economia circular, resíduos agroindustriais, palavra



SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 JUSTIFICATIVA	6
3 OBJETIVO GERAL	7
4 METODOLOGIA	8
5 RESULTADOS OBTIDOS.....	9
6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS	10
REFERÊNCIAS	11



1. INTRODUÇÃO

O cacau (*Theobroma cacao L.*) é a matéria-prima tradicional para a produção de chocolate e derivados. Seu valor nutricional e funcional está associado principalmente à presença de compostos fenólicos, como flavonoides e procianidinas, reconhecidos por suas propriedades antioxidantes (AFOAKWA, 2010). O cacau possui composição química única, com mais de 500 compostos, dentre os quais merecem destaque as metilxantinas. Classificadas como alcaloides purínicos, são consideradas substâncias estimulantes; as encontradas no cacau são a teobromina, em maior concentração, seguida da cafeína e, por último, da teofilina (HURST et al., 2002).

O primeiro contato dos europeus com o cacau ocorreu no século XV, na região onde hoje se localiza o México, quando os astecas utilizavam as sementes para a produção de uma bebida amarga considerada afrodisíaca, além de empregá-las como moeda de troca (PORRO, 1997; BLETTER; DALY, 2009). Contudo, apenas no século XX a produção comercial do cacau, especialmente na forma de barras de chocolate, disseminou-se em escala global, movimentando atualmente cifras superiores a 40 bilhões de dólares anuais (FAO, 2018).

Entretanto, o cacau possui uma história milenar: originário da região amazônica, evidências arqueológicas indicam seu uso como alimento há mais de 5.300 anos por civilizações pré-colombianas da Amazônia equatoriana. No Brasil, do território amazônico, o fruto foi levado para a Bahia em 1746, consolidando-se como um dos principais cultivos da região (EMBRAPA, 2023).

Segundo dados da FAO, o Brasil é atualmente o quinto maior produtor mundial de cacau (FAOSTAT, 2025). Desde 1961, o país participa do comércio internacional de amêndoas; contudo, a partir de 1992, passou a ser também importador. Bahia e Pará concentram mais de 90% da produção nacional, alternando-se como principais produtores e movimentando, em 2024, cerca de 15 milhões de reais (IBGE, 2024).

Apesar da relevância socioeconômica, a produção nacional ainda não atende à demanda interna, tornando o Brasil dependente da importação, especialmente de Gana, um dos maiores exportadores mundiais. Estima-se que cerca de 30% da produção global seja perdida devido a fatores bióticos e abióticos. Entre as principais doenças destacam-se a



vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*) e a doença da vagem negra, causada por espécies do oomiceto *Phytophthora* (LOPES; MONTEIRO, 2013).

No Brasil, a introdução de *M. perniciosa* a partir da Amazônia provocou uma forte crise na cacauicultura a partir da década de 1980. A produção, que alcançava 320 mil toneladas nesse período, caiu para 190 mil toneladas nos anos 1990. Atualmente, após avanços na área de melhoramento genético e a implantação de Sistemas Agroflorestais (SAFs) com cacau, a produção nacional se mantém próxima a 300 mil toneladas, após 45 anos do primeiro registro da doença (IBGE, 2024).

Além das doenças, fatores abióticos, como variações climáticas de curto e longo prazo, bem como limitações de fertilidade do solo, impactam negativamente a produtividade (PINTO et al., 2022). Diante desse cenário, a busca por alternativas ao cacau torna-se fundamental para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva do chocolate.

Pesquisas têm buscado identificar matérias-primas capazes de substituir parcial ou totalmente suas amêndoas em formulações alimentícias. Diferentes frutos e sementes têm sido avaliados quanto ao seu perfil químico, composição de compostos bioativos, capacidade antioxidante e aceitação sensorial, resultando em propostas de substitutos como a alfarroba (*Ceratonia siliqua L.*) e o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum Schum.*) (MEDEIROS; LANNES, 2009; CORRÊA et al., 2016; BOLDORI et al., 2021).

Esses estudos reforçam que a substituição do cacau não apenas é possível, mas também representa uma oportunidade de inovação tecnológica e de redução de custos na indústria alimentícia. Nesse cenário, torna-se relevante investigar novos candidatos que conciliem disponibilidade, segurança e sustentabilidade, como a amêndoa da manga.

4.2 Histórico e importância socioeconômica da manga no Brasil

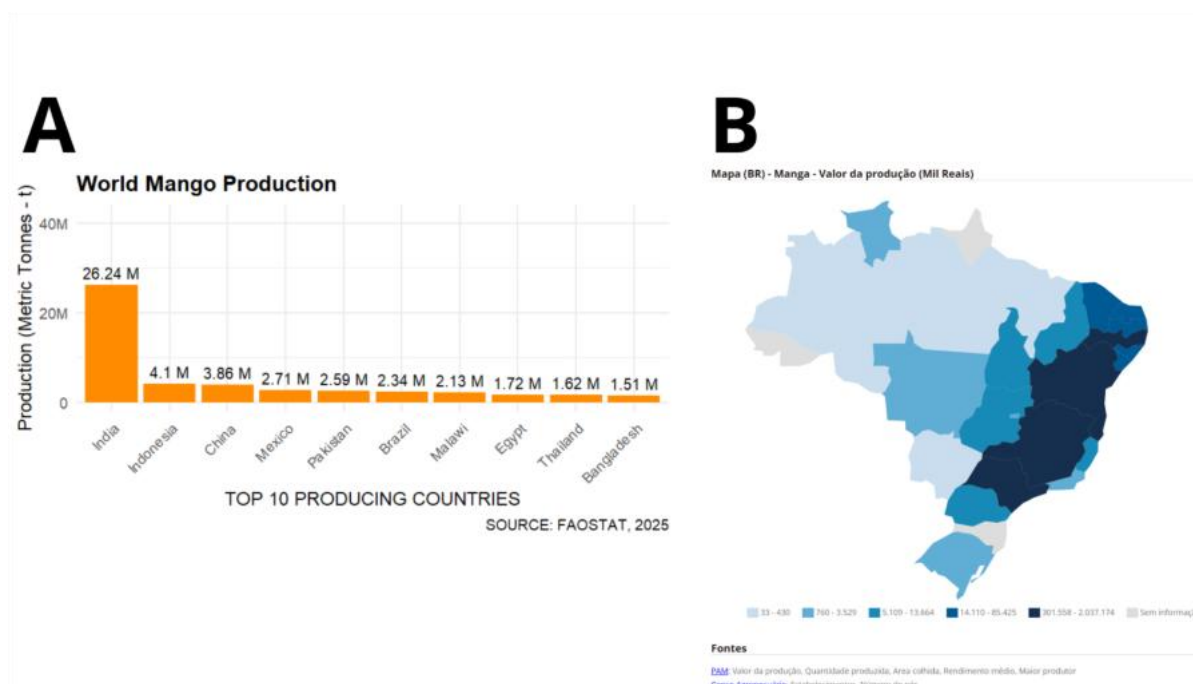
A manga (*Mangifera indica L.*) é considerada a segunda fruta tropical mais consumida no mundo. Pertence à família Anacardiaceae, a mesma de espécies nativas do Nordeste brasileiro, como o umbu (*Spondias tuberosa*), o cajá (*Spondias mombin*) e o caju (*Anacardium occidentale*). Seu centro de origem é o sul da Ásia, especialmente a Índia e o Arquipélago Malaio. Com as rotas comerciais marítimas entre a Ásia e a Europa, a manga



foi introduzida nas costas leste e oeste da África e, posteriormente, nas Américas (EMBRAPA, 2023).

No Brasil, sexto maior produtor mundial, a mangueira adaptou-se bem às condições edafoclimáticas, o que permitiu ao país estar entre os dez maiores produtores e exportadores mundiais da fruta (FAOSTAT, 2025). Atualmente, a região Nordeste, com destaque para Bahia e Pernambuco, concentra a maior área cultivada e o maior volume de produção, sendo responsável por mais de 90% das exportações destinadas à Europa, América do Norte e outras regiões (IBGE, 2024) (Figura 1).

Figura 1. Produção mundial e nacional de Manga.



Fonte: FAOSTAT, 2025; IBGE – PAM, 2024.

O surgimento de polos produtores no Sudeste (São Paulo e Minas Gerais) e, sobretudo, no Nordeste (Bahia, Pernambuco, Ceará e Rio Grande do Norte), favorecido pelo clima semiárido e pela adoção da irrigação localizada, consolidou uma mangicultura intensiva de alto padrão tecnológico. Esse modelo produtivo tem gerado milhares de



empregos diretos e indiretos, incrementando a renda agrícola e fortalecendo a balança comercial brasileira, evidenciando a sua importância socioeconômica (EMBRAPA, 2023).

O consumo da manga ocorre de diferentes formas: *in natura*, seca ou liofilizada, além de ser processada para a produção de polpas, sucos, néctares e geléias. Também é amplamente utilizada na culinária, em receitas como bolos, mousses, vitaminas, molhos, saladas, coquetéis e licores. Do ponto de vista nutricional, a manga é uma importante fonte de carboidratos, fibras, vitaminas (A, B6, B12, C e E), minerais (potássio, cálcio, fósforo, sódio, magnésio, ferro e zinco) e compostos bioativos, como carotenoides e a mangiferina, ambos associados a propriedades antioxidantes e benefícios à saúde (SOUZA, 2016).

Apesar de sua relevância econômica e nutricional, o processamento industrial da manga gera grande volume de resíduos, que podem corresponder a 40–60% da matéria-prima utilizada, compostos principalmente por cascas (12–15%) e sementes (15–20%). Por razões sanitárias, esses resíduos precisam ser descartados em áreas específicas, acarretando custos adicionais e impactos ambientais (VIEIRA et al., 2009; DANTAS et al., 2018).

A amêndoa da semente de manga, localizada no interior do endocarpo, possui composição nutricional relevante, incluindo proteínas, lipídios, fibras e metabólitos secundários com ação antioxidante (SOUZA, 2016). Estudos indicam que a amêndoa pode ser utilizada na alimentação de monogástricos, incluindo seres humanos, sem causar efeitos adversos (OKAI; ABOAGYE, 1990). Ensaio químicos revelam a presença de polifenóis e flavonoides, com atividade antioxidante, anti-inflamatória, cardioprotetora e antimicrobiana (KUSKOSKI et al., 2005; SILVA et al., 2021).

Nesse contexto, a valorização da amêndoa de manga se insere no escopo da bioeconomia circular, que busca transformar resíduos em insumos de valor agregado, promovendo sustentabilidade ambiental e segurança alimentar. O aproveitamento de partes não convencionais dos alimentos tem ganhado destaque como estratégia de combate ao desperdício e à insegurança alimentar, além de estimular a inovação no desenvolvimento de novos produtos alimentícios funcionais, como alternativas ao chocolate tradicional (BRASIL, 2006; DANTAS et al., 2018).

Contudo, ainda são escassas as pesquisas que caracterizam de forma aprofundada a composição da farinha da amêndoa de manga, o seu aroma, bem como seu desempenho



sensorial e tecnológico em substituição ao cacau, configurando uma lacuna que este projeto se propõe a investigar.

2 JUSTIFICATIVA

O cacau (*Theobroma cacao L.*) é a matéria-prima tradicional para a produção de chocolate, alimento de grande importância econômica, social e cultural no Brasil e no mundo. No início do século XX, o país figurou como o maior exportador mundial de cacau, impulsionando significativamente a economia nacional. Entretanto, a partir da década de 1980, a produção sofreu queda expressiva em decorrência da disseminação da vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*), doença que comprometeu grande parte das plantações, associada ainda a fatores abióticos, como variações climáticas e limitações de fertilidade do solo (LOPES; MONTEIRO, 2013; PINTO et al., 2022). Essa redução impactou diretamente o setor alimentício, elevando os custos de produção e restringindo o acesso do chocolate a diferentes faixas da população (OLIVEIRA; ASSIS, 2023).

O chocolate é um produto sensorialmente complexo, cujas propriedades de sabor, aroma e textura derivam da fermentação, torrefação e processamento das amêndoas de cacau, naturalmente ricas em compostos fenólicos e flavonoides, reconhecidos pela sua elevada atividade antioxidante (AFOAKWA, 2010). No entanto, a redução da oferta de cacau e o aumento dos custos de seus derivados evidenciam a necessidade de buscar alternativas vegetais que preservem as características sensoriais e nutricionais do chocolate, mas que sejam mais sustentáveis, economicamente viáveis e tecnologicamente compatíveis com a indústria alimentícia (MEDEIROS; LANNES, 2009; CORRÊA et al., 2016).

Nesse cenário, a exploração de matérias-primas não convencionais de origem vegetal surge como uma estratégia promissora. Entre as frutas tropicais de destaque, a manga (*Mangifera indica L.*) apresenta-se como candidata relevante. O Brasil figura entre os principais produtores mundiais da fruta, e o processamento industrial de polpas, sucos e doces gera grandes volumes de resíduos — especialmente sementes — que representam de 15 a 20% da massa total da fruta e são frequentemente descartadas de forma inadequada (VIEIRA et al., 2009; DANTAS et al., 2018).



A amêndoa presente no interior da semente de manga possui composição nutricional e funcional notável, contendo proteínas, lipídios, fibras, compostos fenólicos, flavonoides e outros metabólitos bioativos com propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas (KUSKOSKI et al., 2005; SILVA et al., 2021). Além disso, apresenta compostos voláteis capazes de conferir aroma e sabor característicos, o que sugere potencial para aplicação em formulações alimentícias similares ao chocolate. Assim, o aproveitamento da amêndoa de manga estabelece uma ponte lógica entre o desafio da escassez de cacau e a valorização de resíduos agroindustriais, promovendo uma solução inovadora alinhada à economia circular e à bioeconomia.

O uso da farinha obtida a partir da amêndoa de manga apresenta benefícios em múltiplas dimensões. Sob o ponto de vista econômico, pode reduzir custos de produção e gerar novas oportunidades de renda para produtores e indústrias locais. Do ponto de vista ambiental, contribui para a redução de resíduos orgânicos descartados inadequadamente e para a mitigação de impactos do desperdício agroindustrial. Sob a dimensão social, amplia o acesso a produtos alimentícios de valor agregado, tornando o chocolate mais acessível e fortalecendo cadeias produtivas regionais.

Apesar do potencial evidenciado, ainda são escassos os estudos que caracterizam de forma sistemática a farinha da amêndoa de manga, especialmente quanto à sua composição química, perfil de compostos bioativos e voláteis, desempenho sensorial e viabilidade tecnológica como substituto parcial do cacau. Essa lacuna científica reforça a necessidade de abordagens interdisciplinares que integrem bioquímica de alimentos, tecnologia de alimentos e sustentabilidade, favorecendo a geração de conhecimento aplicado e de produtos inovadores.

Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo caracterizar a farinha obtida a partir da amêndoa de manga e avaliar seu potencial como alternativa sustentável ao cacau na produção de chocolate. Ao propor o aproveitamento de um subproduto agroindustrial subutilizado, esta pesquisa contribui para o avanço de soluções sustentáveis na indústria alimentícia, promovendo a inovação tecnológica, o uso racional de recursos naturais e o fortalecimento da economia circular.



3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Investigar o potencial tecnológico da farinha da amêndoa de manga como substituto parcial do cacau na formulação de chocolate, por meio da caracterização físico-química, da análise de compostos bioativos e propriedades sensoriais do produto final.

3.2 Objetivos específicos

- Produzir a farinha da amêndoa de manga por meio de processos controlados de secagem e moagem.
- Determinar os teores de compostos fenólicos e flavonoides por métodos espectrofotométricos.
- Caracterizar o perfil químico e estrutural da farinha por meio de espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR).
- Avaliar a citotoxicidade dos extratos obtidos para garantir segurança de uso.
- Comparar a composição química e bioativa da farinha da amêndoa de manga com a do cacau.
- Testar a viabilidade tecnológica da substituição parcial do cacau em formulações alimentícias.
- Analisar o perfil sensorial (sabor, aroma, textura e cor) e a funcionalidade antioxidante do produto final.



4 METODOLOGIA

4.1 Colaborações Interinstitucionais

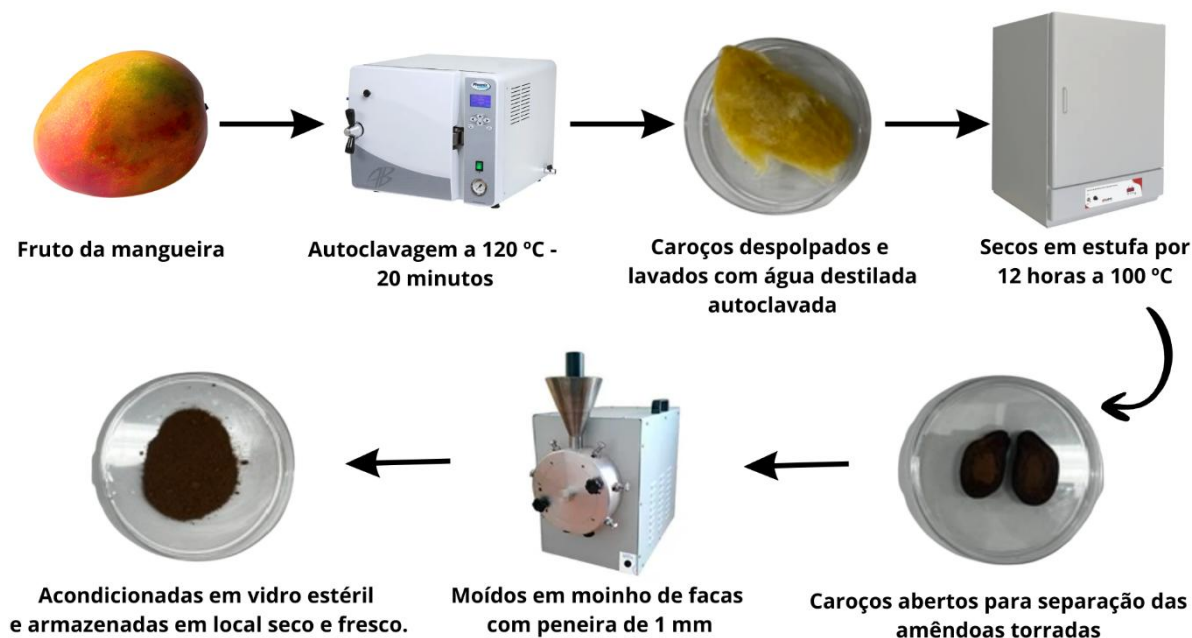
A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Iniciação Científica da Escola SESI Djalma Pessoa, com suporte técnico da orientadora e da equipe de estagiários da área de Ciências da Natureza. Contou-se ainda com colaborações institucionais da Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS) e do Instituto de Tecnologia em Saúde (ITS) – SENAI CIMATEC, que disponibilizaram equipamentos, infraestrutura e espaços de pesquisa para a execução das atividades. Todas as atividades experimentais foram realizadas em laboratórios com infraestrutura adequada, seguindo rigorosamente as normas de biossegurança vigentes e sob acompanhamento de profissionais qualificados. Além disso, o projeto foi submetido à apreciação da Comissão de Ética e Revisão Científica Escolar (CERCE) – SESI, garantindo conformidade ética, segurança e responsabilidade científica em todas as etapas da pesquisa. Essas parcerias também ofereceram treinamento especializado a estudantes e professores, promovendo o desenvolvimento de habilidades práticas em técnicas modernas de biotecnologia e metodologias experimentais.

4.2 Obtenção das amêndoas

Mangas de diferentes variedades, adquiridas no comércio local dos Municípios de Madre de Deus e Candeias - BA, foram autoclavadas e despulpadas; os caroços foram lavados com água destilada estéril e colocados para secar em estufa com circulação de ar a 100 °C, por 12 horas. Após a secagem, foram abertos com o auxílio de uma morsa de bancada para a separação das amêndoas, que, em seguida, foram moídas em moinho de facas com peneira de 1 mm (AMR-910), posteriormente foram acondicionadas em pote de vidro estéril e armazenadas em local seco e fresco (Figura 2).



Figura 2. Processo de produção da farinha da amêndoa da manga.



4.3 Preparo do extrato

O material moído (10 g) foi submetido à extração com metanol (300 mL) em banho ultrassônico (40 kHz) por 60 minutos à temperatura ambiente. Após esse período, foi realizada a filtração e o extrato líquido foi seco em estufa a 60 °C até a secagem completa.

4.4 Determinação de Compostos Fenólicos Totais

A quantificação de compostos fenólicos totais foi realizada pelo método de Folin-Ciocalteu, com adaptações (SARI et al. 2023). O reagente de Folin-Ciocalteu (FC) foi diluído 1:10 em água destilada. Carbonato de sódio (Na_2CO_3) foi preparado a 7% em água destilada. O ácido gálico foi utilizado como padrão para construção da curva de calibração, em soluções metanólicas nas concentrações de 0,005 a 0,18 mg/mL. Para a preparação das amostras, 10 mg do extrato da farinha de amêndoa da manga foram dissolvidos em 10 mL de metanol.



Em placas de 96 poços, 20 μL da amostra ou do padrão foram adicionados, seguidos de 20 μL de FC, com agitação de 5 minutos. Em seguida, acrescentaram-se 200 μL de Na_2CO_3 7% e 10 μL de água, com nova agitação. Após 120 minutos, sob proteção da luz, a absorbância foi medida a 750 nm em leitor Multiskan™ GO. Todos os ensaios foram realizados em triplicata. O branco foi preparado substituindo-se a amostra pelo solvente correspondente.

A regressão linear da curva padrão de ácido gálico permitiu calcular a concentração de fenólicos totais nas amostras, expressa em mg de equivalentes de ácido gálico (mg AGE) por grama de extrato.

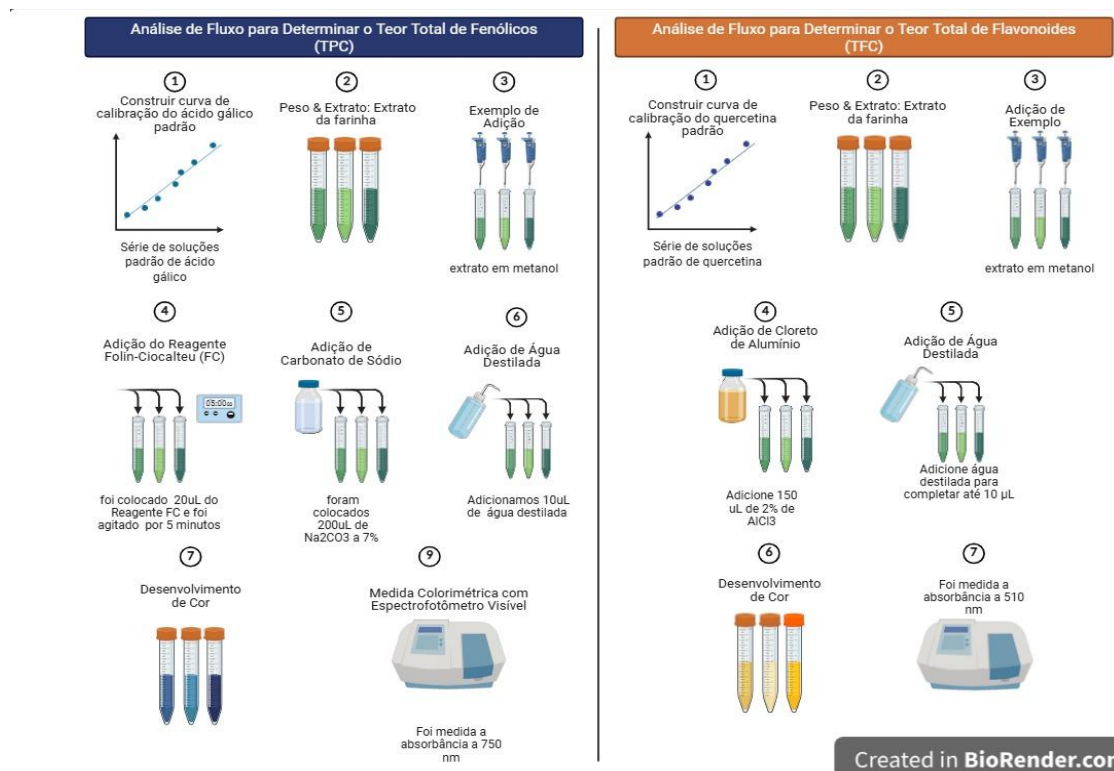
4.5 Determinação de Flavonoides Totais

A quantificação de flavonoides totais foi realizada segundo o método de complexação com cloreto de alumínio (AlCl_3), com adaptações de Chomnawang et al. (2009), Pelissari (2008) e Pothitirat et al. (2009). A solução de AlCl_3 (2%) foi preparada em metanol. A quercetina foi utilizada como padrão, com concentrações de 0,0120 a 0,0480 mg/mL, enquanto a solução da amostra foi preparada dissolvendo aproximadamente 30 mg do extrato em 10 mL de metanol.

Em placas de 96 poços, 150 μL da amostra ou do padrão foram misturados a 150 μL da solução de AlCl_3 . Após 10 minutos de reação, a absorbância foi medida a 415 nm em leitor Multiskan™ GO. Todos os ensaios foram realizados em triplicata, utilizando o branco com metanol no lugar da amostra. A curva de calibração da quercetina permitiu calcular a concentração de flavonoides totais nas amostras, expressa em mg de equivalentes de quercetina (mg QE) por grama de extrato.



Figura 3. Ensaios do teor de flavonoides e fenólicos.



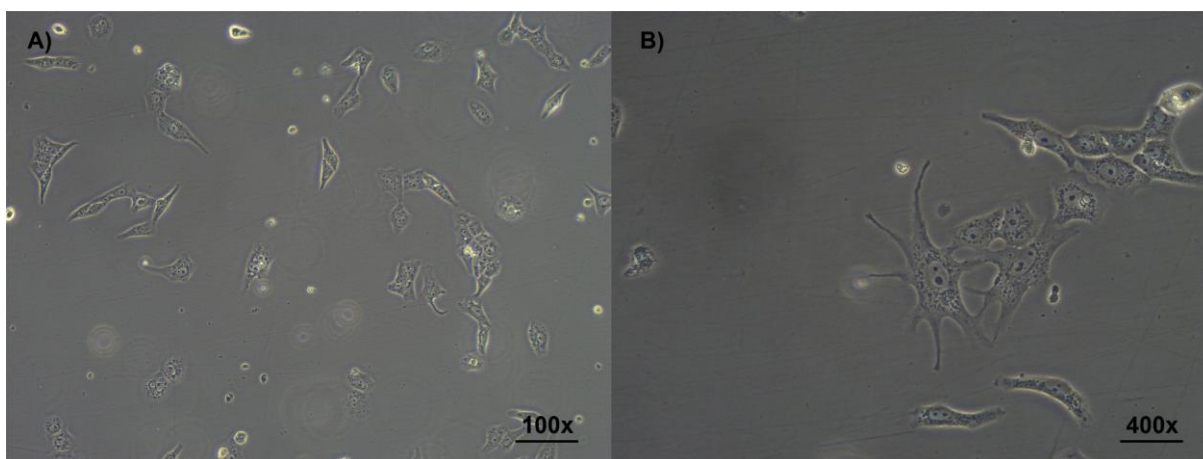
4.6 Teste de Citotoxicidade

O ensaio teve como objetivo avaliar a citotoxicidade do extrato de caroço de manga utilizando o teste com o reagente Alamar Blue. Inicialmente, a amostra de farinha de caroços de manga foi submetida à esterilização em autoclave, assegurando a eliminação de contaminantes microbiológicos. O experimento foi conduzido em células Vero, uma linhagem comercial contínua derivada do epitélio renal de macaco-verde africano (*Chlorocebus sp.*) e que é amplamente utilizada em ensaios de toxicidade e viabilidade celular devido à sua estabilidade, aderência e sensibilidade a compostos bioativos. Trata-se de células volumosas e granulosas, de morfologia estrelada, que crescem em aderência formando uma monocamada (Figura 4). As células foram cultivadas em meio DMEM completo (Dulbecco's Modified Eagle Medium), suplementado com 10% de soro fetal bovino (FBS) e 1% de solução de penicilina/estreptomicina, sendo mantidas em estufa a 37 °C e 5% de CO₂, com trocas de meio a cada 48 horas e acompanhamento do crescimento



em microscópio invertido de campo claro. Para a realização dos testes de citotoxicidade, as células foram plaqueadas em densidade de 1×10^4 células por poço em placas de 96 poços e incubadas por um período de aderência de 4 horas.

Figura 4. Cultivo de células *Vero* observadas em microscópio.



O ensaio de citotoxicidade foi conduzido em triplicata, a partir de diluição seriada do extrato de caroço de manga, de forma que diferentes concentrações foram adicionadas às células, partindo da concentração máxima de 1 mg/mL. Células não tratadas constaram como controle negativo, enquanto que o controle positivo foi tratado com 16,32 $\mu\text{g/mL}$ de violeta de genciana, composto capaz de induzir morte celular total (Au et al., 1978). O branco, por sua vez, foi composto por apenas 200 μL de meio DMEM completo e 200 μL de meio DMEM + AlarmaBlue.

Foram feitas incubações, em placas diferentes, por períodos de 24, 48 e 72 horas, em cada placa respectiva. Após cada tempo de incubação adicionou-se 10% de Alamar Blue (20 μL por poço), seguido de nova incubação por 6 horas nas mesmas condições. O Alamar Blue é um indicador redox que permite avaliar a viabilidade celular por meio da conversão da resazurina (azul) em resorufina (rosa), processo dependente da atividade metabólica das células viáveis.



A leitura das placas foi realizada em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 570 nm e 600 nm. A partir das absorbâncias obtidas, foi calculada a porcentagem de viabilidade celular, utilizando-se a seguinte relação:

$$\text{Viabilidade (\%)} = \frac{A_{\text{tratado}} - A_{\text{branco}}}{A_{\text{controle negativo}} - A_{\text{branco}}} \times 100$$

Valores reduzidos de viabilidade indicaram maior efeito citotóxico do extrato testado sobre as células Vero, permitindo determinar a concentração citotóxica média (CC₅₀) e inferir o potencial de toxicidade do extrato de caroço de manga.

4.7 Espectroscopia de Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Devido à necessidade de autoclavar o material, foi realizada a Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) comparativa, com o intuito de verificar se há perda de componentes, por causa do calor excessivo ocasionado pelo processo de esterilização do material. A caracterização química foi realizada pela técnica de ATR-FTIR (Alpha II, Bruker), com a varredura entre 400 e 4000 cm⁻¹, com resolução de 0,4 cm⁻¹ e coletado cada um com 64 scans.

4.8 Teste Sensorial

A avaliação sensorial das formulações será conduzida em duas etapas. A primeira consistirá em um teste afetivo, cujo objetivo será selecionar a melhor formulação. A segunda etapa compreenderá um teste discriminativo, realizado para comparar a formulação selecionada com a formulação controle (sem substituição de cacau). Uma equipe de 50 provadores não treinados, de ambos os sexos, autodeclarados consumidores de chocolate, avaliará o produto final, em cabines individuais, com iluminação branca. As amostras serão codificadas com números aleatórios e oferecidas aos julgadores, à temperatura ambiente, acompanhadas de água. Antes da degustação, os provadores serão instruídos a ler e assinar um termo de consentimento, declarando não possuir alergia aos componentes das formulações, autorizando o uso das informações prestadas exclusivamente para fins da pesquisa e reconhecendo o direito de desistir da participação a



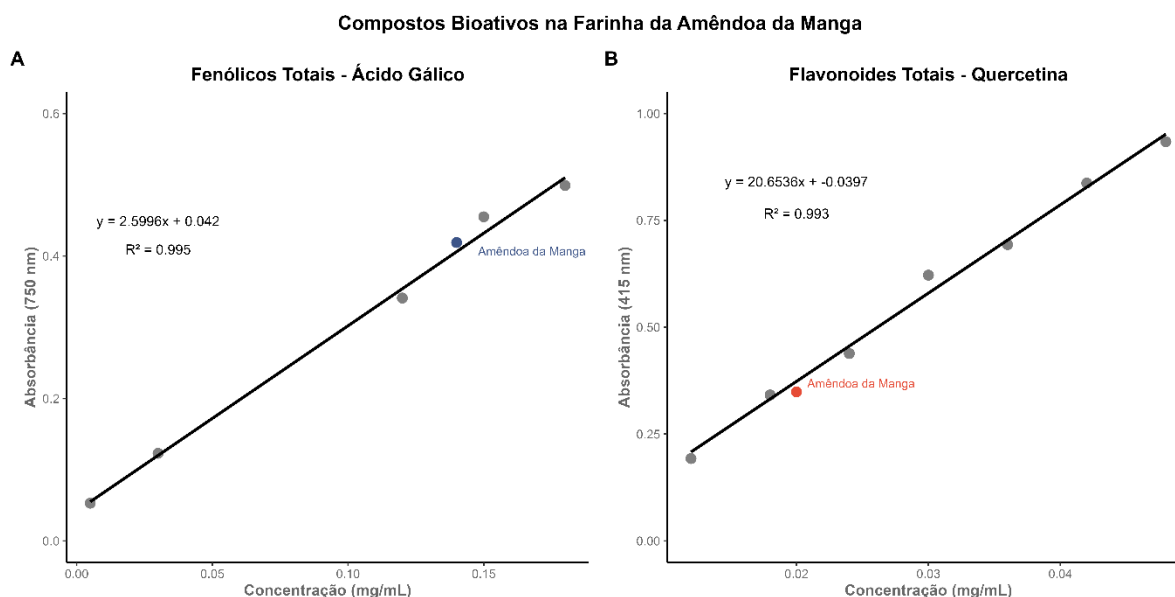
qualquer momento. Na primeira etapa, será aplicado um teste afetivo quantitativo utilizando escala hedônica estruturada de 1 a 7 pontos, sendo os extremos (1) desgostei muito e (7) gostei muito, para avaliação dos atributos aparência geral, cor, aroma, textura e sabor conforme NBR 14141 (ABNT, 1998). Para avaliar a intenção de compra, será utilizada a escala hedônica estruturada de cinco pontos, sendo os extremos os termos “certamente não compraria” (5) e “certamente compraria” (1), conforme NBR 14141 (ABNT, 1998). A segunda etapa da análise sensorial será realizada com a formulação que obtiver a maior nota na primeira etapa e a formulação controle (sem substituição de cacau). Serão aplicados testes discriminativos para verificar a existência de diferenças perceptíveis entre as amostras. O teste selecionado será o triangular, no qual o provador deverá identificar, entre três amostras apresentadas, qual delas é distinta. A principal vantagem do teste triangular é a baixa probabilidade de acerto ao acaso. Os 50 provadores selecionados participarão novamente, seguindo os mesmos procedimentos descritos anteriormente. As amostras, devidamente codificadas, serão apresentadas simultaneamente, e os provadores serão instruídos a degustá-las da esquerda para a direita, registrando na ficha de avaliação a amostra considerada diferente. Os resultados obtidos serão submetidos à análise de variância (ANOVA) e o contraste entre as médias pelo teste de Tukey a 5%, utilizando o pacote TukeyC: Conventional Tukey Test, no software R CORE TEAM 4.4.1 (2024).

5 RESULTADOS OBTIDOS

Através da extração por ultrassom com metanol obteve-se um rendimento de 8,4 %. A quantificação de compostos fenólicos totais na farinha do caroço da manga revelou valores elevados, alcançando 143,91 mg AGE/g de extrato, enquanto os flavonoides totais foram significativamente menores, com 6,37 mg QE/g de extrato. As curvas padrão utilizadas para determinação (ácido gálico para fenólicos e quercetina para flavonoides) apresentaram boa linearidade ($R^2 > 0,99$), garantindo confiabilidade na interpolação dos valores de absorbância.



Figura 5. Compostos bioativos e curva de calibração – Farinha da Amêndoa da Manga

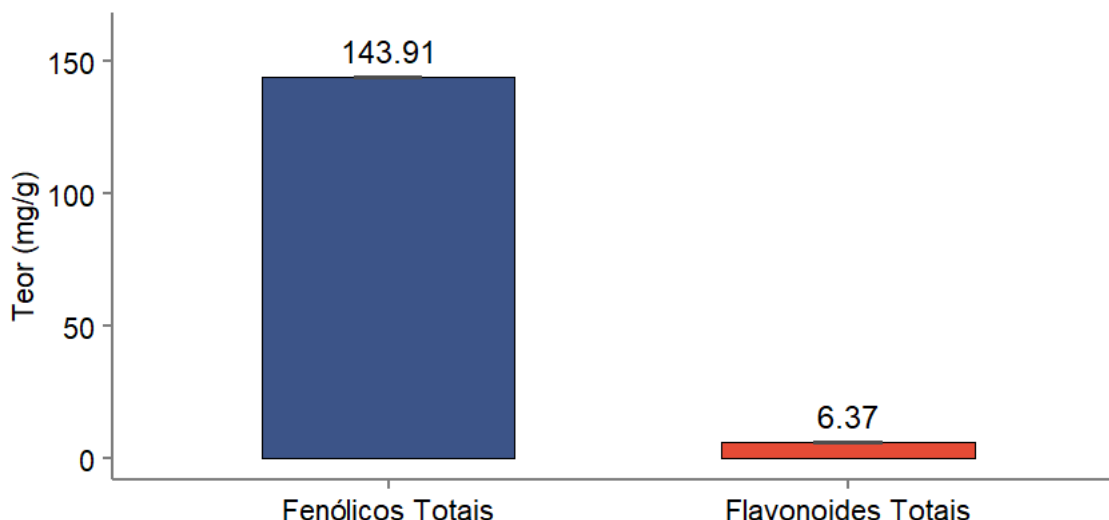


A expressiva diferença entre os teores de fenólicos totais e flavonoides sugere que a matriz da amêndoa acumula predominantemente ácidos fenólicos e outros compostos fenólicos não flavonoides. A elevada concentração de fenólicos, mesmo diante do baixo teor de flavonoides, indica potencial antioxidante significativo da farinha da amêndoa da manga, podendo contribuir para atividades bioativas como neutralização de radicais livres e proteção celular. Essa característica é compatível com o papel de sementes e amêndoas como reservatórios de compostos fenólicos, que atuam na defesa do organismo vegetal contra estresses oxidativos e patógenos.

Figura 6. Quantificação dos compostos bioativos da farinha da amêndoa da Manga



Compostos Bioativos na Farinha da Amêndoa da Manga



Além disso, a discrepância observada reforça a importância de caracterizações mais detalhadas, utilizando técnicas cromatográficas como a cromatografia a líquidos de alta eficiência, para identificar as subclasses de fenólicos presentes e correlacionar seus perfis químicos com propriedades funcionais específicas. Tal abordagem permitiria determinar com maior precisão quais compostos contribuem para a atividade antioxidante e bioativa da farinha, além de fundamentar futuras aplicações nutraceuticas ou industriais.

Em síntese, a farinha da amêndoa da manga se mostra uma fonte rica de compostos fenólicos totais, com baixo conteúdo de flavonoides específicos, sugerindo que a atividade antioxidante e funcional observada está principalmente associada a ácidos fenólicos e outros compostos fenólicos não-flavonoides.

Os extratos podem ser fonte potencial de bioativos, trazendo não apenas benefício nutricional como também redução do impacto ambiental devido ao aproveitamento desses resíduos para formulação de novos produtos pela indústria alimentícia (ARBOS et al., 2013).

Os resultados do ensaio de viabilidade celular, realizado após 48 horas de exposição das células à farinha do caroço de manga em diferentes concentrações, demonstraram que o grupo controle, sem tratamento, apresentou viabilidade próxima de 100%, servindo como referência para as demais condições. Nas concentrações mais elevadas (1 mg/mL e 500



$\mu\text{g/mL}$), observou-se uma redução significativa da viabilidade celular, sendo mais acentuada em 1 mg/mL ($p < 0,001$), o que caracteriza um efeito citotóxico. Já em $500 \mu\text{g/mL}$ ($p < 0,05$), o extrato apresentou apenas um potencial citotóxico, mantendo a viabilidade celular acima de 70% (Figura 7).

De acordo com a norma ISO 10993-5:2009 (Biological Evaluation of Medical Devices — Part 5: Tests for In Vitro Cytotoxicity), reduções superiores a 30% na viabilidade celular em relação ao controle (isto é, valores inferiores a 70%) são consideradas indicativas de citotoxicidade. Assim, os resultados obtidos indicam que, em altas concentrações, a farinha do caroço de manga exerce efeito citotóxico mensurável sobre as células analisadas, enquanto as concentrações intermediárias permanecem dentro do limite de aceitabilidade definido pela referida norma.

Nas concentrações iguais ou inferiores a $250 \mu\text{g/mL}$, a viabilidade celular manteve-se próxima aos valores do controle, sem diferenças estatisticamente significativas. Esse comportamento sugere que a citotoxicidade da farinha do caroço de manga é dose-dependente e que, abaixo desse limiar, o composto não compromete a integridade celular após 48 horas de exposição. Dessa forma, infere-se que a farinha apresenta uma margem de segurança considerável, sendo potencialmente segura para uso em concentrações inferiores a $250 \mu\text{g/mL}$.

No ensaio realizado após 72 horas, observou-se novamente uma diminuição significativa da viabilidade celular na concentração de 1 mg/mL ($p < 0,001$), confirmando o efeito citotóxico nessa dose. Entretanto, diferentemente do observado após 48 horas, as células expostas a $500 \mu\text{g/mL}$ apresentaram viabilidade mais elevada, sugerindo uma possível adaptação celular ou menor impacto tóxico ao longo do tempo. Como esperado, as concentrações de $250 \mu\text{g/mL}$ a $7,81 \mu\text{g/mL}$ não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao controle, mantendo a viabilidade celular próxima de 100% (Figura 8).

Em síntese, os resultados indicam que o extrato do caroço de manga apresenta um efeito citotóxico dependente da concentração e do tempo de exposição, sendo tóxico apenas em doses bastante elevadas (Figura 9). Em concentrações mais baixas, o extrato



demonstrou boa compatibilidade celular, reforçando seu potencial para aplicações biológicas seguras dentro desse intervalo de concentração.

Figura 7. Viabilidade celular em 48h da farinha da amêndoa da manga.

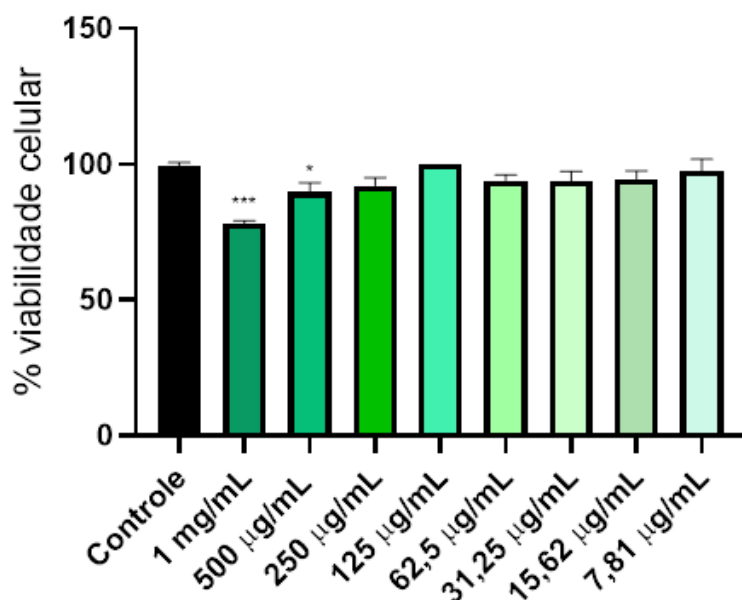


Figura 8. Viabilidade celular em 72h da farinha da amêndoa da manga.

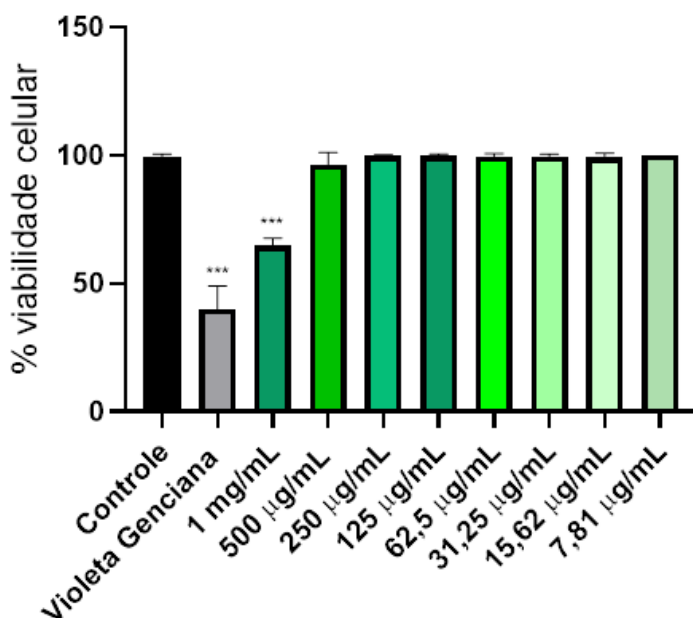




Figura 9. Células Vero observadas sob microscópio óptico (200×) após 48 horas de exposição ao extrato do caroço de manga em diferentes concentrações.

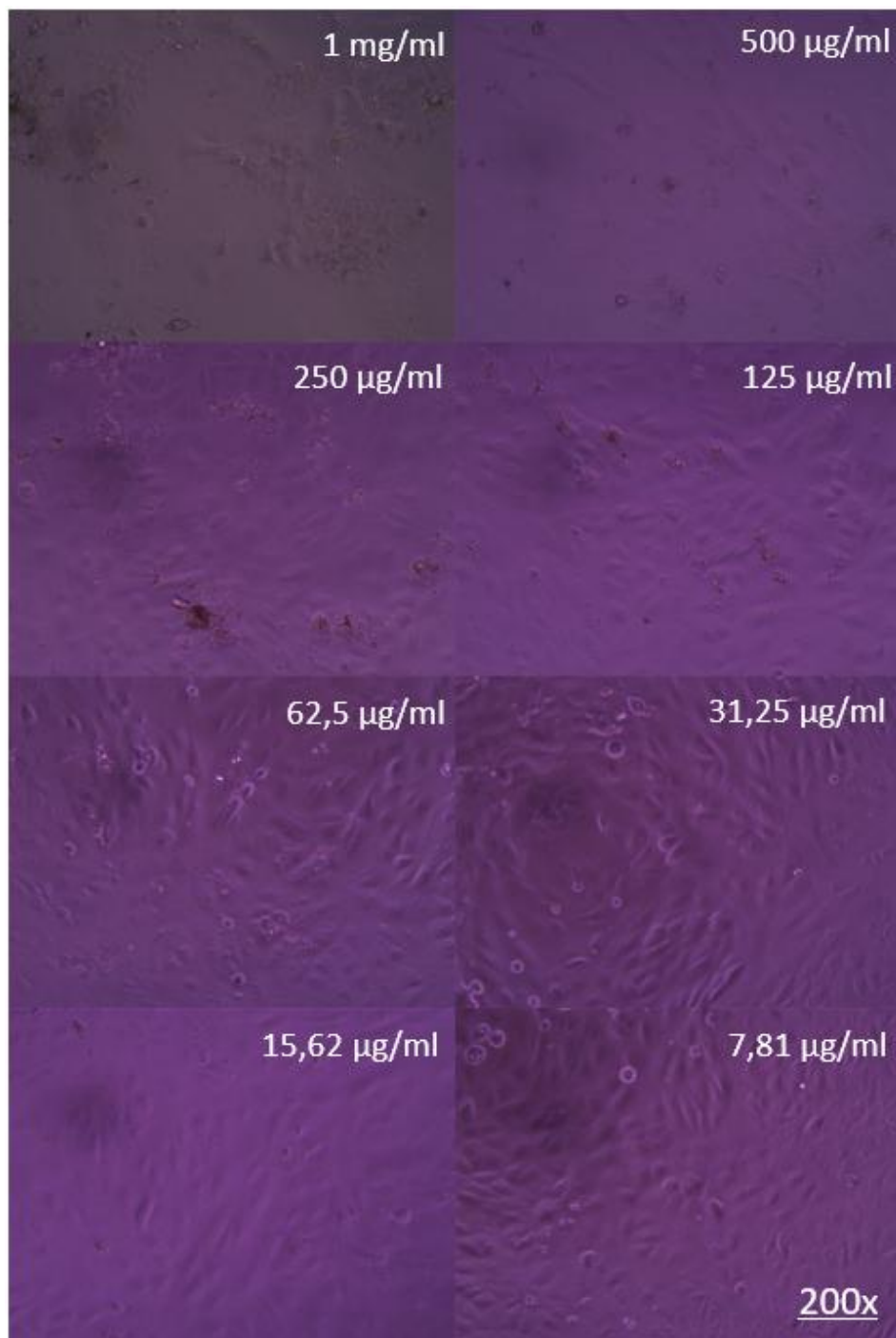
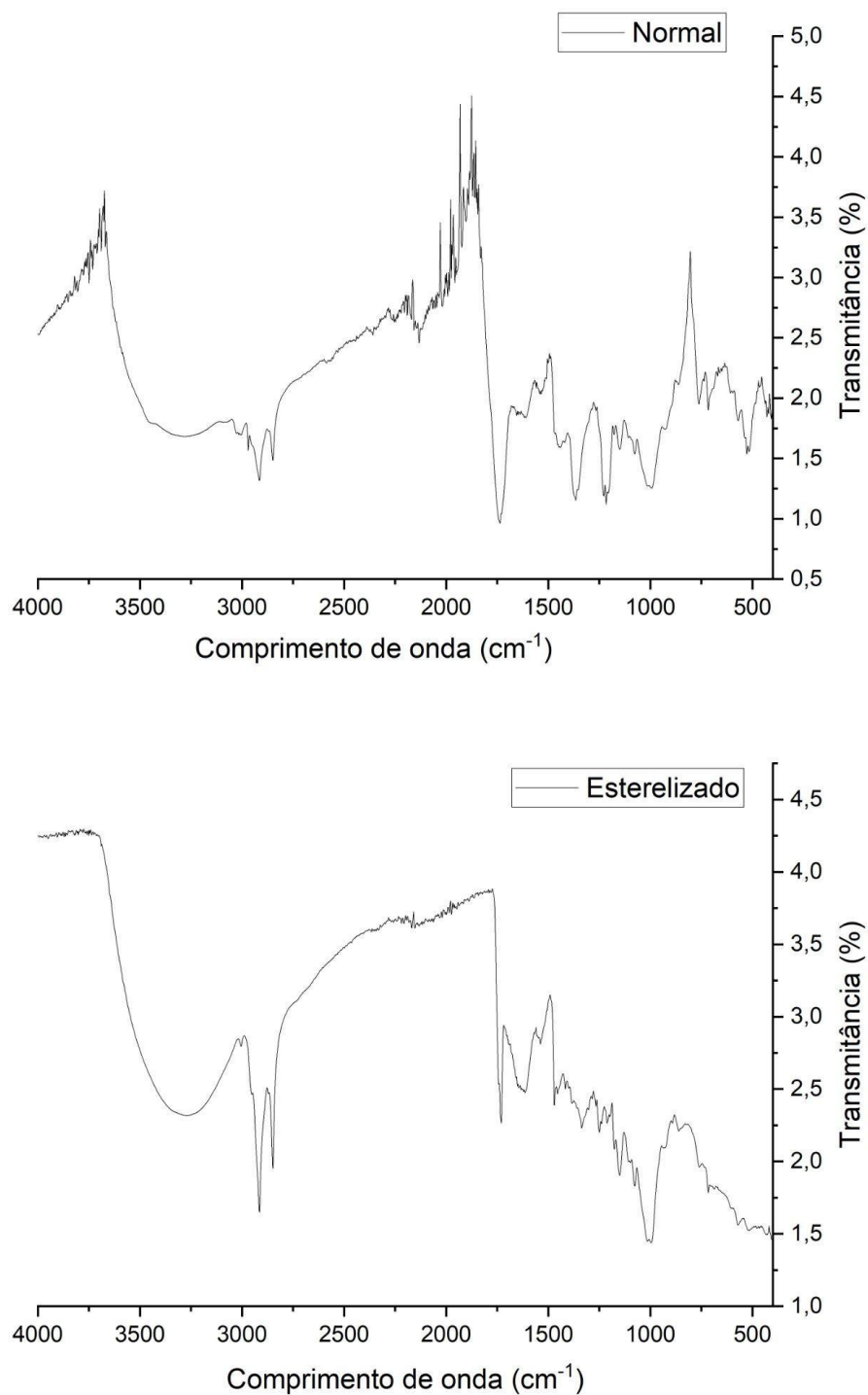




Figura 10. Espectro de FTIR da farinha esterilizada e não esterilizada.





Os espectros de FTIR, apresentados na Figura 10, demonstraram diferenças entre as duas formas, não esterilizado (A) (descrito na legenda do gráfico como normal) e o esterilizado (B). Na região entre $4000\text{--}3000\text{ cm}^{-1}$, que normalmente é característica região onde indica presença de grupos hidroxila (O–H) e/ou amina (N–H). Na amostra normal, essa banda larga é característica, justamente pela presença desses grupos polares. Já na amostra esterilizada, a banda dessa região aparece de maneira mais intensa e ligeiramente deslocada, o que sugere aumento de hidroxilas livres. O que pode ser explicado pelo processo de autoclavação, que utiliza altas temperaturas e vapor de água, podendo gerar hidrólise parcial, quebrando os grupos –OH.

Já na região $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$, na amostra normal as bandas definidas são de estiramento C–H (alifático). Na amostra esterilizada tem uma redução na intensidade, o que provavelmente indica uma degradação térmica parcial da cadeia orgânica, ou seja, perda de grupos metil ou metileno. Na região de $1750\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$, na amostra normal tem uma banda nítida típica de carbonila (C=O). Ademais, na esterilizada, aparece a mesma banda, porém, de maneira mais larga e menos intensa, o que pode indicar oxidação, hidratação ou interações com água.

Outra região relevante para se analisar é em $1600\text{--}1000\text{ cm}^{-1}$, na qual na amostra normal aparecem bandas definidas. Em contraponto na esterilizada, as bandas surgem de maneira mais difusa e com menor intensidade, o que sugere a perda de ordem estrutural, podendo ser por causa da degradação térmica ou mesmo caramelização leve.

Dessa forma, podemos inferir que a autoclavagem demonstrou alterações químicas, como perda de compostos voláteis/apolares, possível hidrólise e possível início de reações de caramelização/Maillard dependendo da composição (açúcares + aminoácidos). Essas mudanças podem alterar cor, sabor e solubilidade.

6 CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que a farinha da amêndoa de manga (*Mangifera indica L.*) apresenta elevado teor de compostos fenólicos totais (143,91



mg AGE/g de extrato), destacando-se como uma fonte promissora de biomoléculas antioxidantes. Apesar do baixo conteúdo de flavonoides (6,37 mg QE/g), a predominância de ácidos fenólicos e outros compostos não flavonoides indica que o potencial antioxidante do material está fortemente associado a essa fração química. Essa composição sugere que o aproveitamento da amêndoa de manga pode agregar valor funcional e nutricional a produtos alimentícios, especialmente como substituto parcial do cacau na formulação de chocolates, ampliando as possibilidades de inovação sustentável na indústria alimentícia.

O ensaio de viabilidade celular revelou que o extrato metanólico da farinha apresenta citotoxicidade dose-dependente, sendo considerado seguro em concentrações inferiores a 250 µg/mL, conforme os critérios da ISO 10993-5:2009. Esses achados reforçam o potencial de aplicação da farinha como ingrediente funcional ou nutracêutico, desde que utilizada dentro de faixas seguras de concentração. A manutenção da viabilidade celular acima de 70% nas doses intermediárias e baixas sugere que os constituintes bioativos da amêndoa de manga podem ser utilizados de forma segura em produtos destinados ao consumo humano.

A análise espectroscópica por FTIR revelou alterações estruturais relevantes após o processo de esterilização, especialmente no deslocamento e intensificação de bandas características de grupos hidroxila (O–H) e carbonila (C=O), indicando hidrólise parcial e degradação térmica leve. Essas modificações químicas, embora sutis, podem impactar propriedades organolépticas e tecnológicas, como solubilidade, aroma e coloração, fatores essenciais para a incorporação da farinha em produtos alimentícios de maior valor agregado.

Em conjunto, os resultados sustentam a hipótese de que os resíduos agroindustriais da manga representam uma alternativa sustentável, funcional e economicamente viável para substituição parcial do cacau, reduzindo custos de produção, promovendo a economia circular e diminuindo o impacto ambiental associado ao descarte de caroços de frutas.

Perspectivas Futuras: Para consolidar o uso tecnológico e industrial da farinha da amêndoa de manga, recomenda-se a realização das seguintes etapas complementares:

1. Caracterização detalhada do perfil químico dos extratos por meio de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) e Cromatografia Gasosa (CG), com o objetivo de



identificar e quantificar as subclasses específicas de compostos fenólicos, ácidos orgânicos, lipídios e voláteis aromáticos presentes. Essas análises permitirão correlacionar a composição química com a atividade antioxidante e sensorial do produto final.

2. Avaliações antioxidantes complementares, utilizando métodos baseados em mecanismos distintos (DPPH, ABTS e FRAP), a fim de determinar o poder redutor e a capacidade sequestrante de radicais livres da farinha em diferentes solventes e pH.

3. Ensaio tecnológicos e sensoriais, comparando formulações de chocolate contendo diferentes proporções de substituição do cacau por farinha da amêndoa de manga, avaliando parâmetros como textura, brilho, viscosidade, teor de gordura e aceitação sensorial.

4. Estudos de estabilidade química e microbiológica, visando determinar a viabilidade do armazenamento da farinha e seu comportamento em diferentes condições de temperatura, umidade e tempo de prateleira.

5. Investigação *in vitro* e *in vivo* da bioatividade, incluindo potenciais efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios e hepatoprotetores, para estabelecer o potencial nutracêutico e funcional do produto.

Com base nos resultados obtidos e nas perspectivas delineadas, conclui-se que a farinha da amêndoa de manga representa um recurso emergente para o desenvolvimento de alimentos sustentáveis e funcionais, alinhado aos princípios da bioeconomia circular. A combinação de elevado teor de compostos fenólicos, baixo risco citotóxico e características químicas compatíveis com produtos alimentícios complexos confere a esse subproduto um papel estratégico no futuro da inovação agroalimentar e da valorização de resíduos vegetais.



REFERÊNCIAS

- AFOAKWA, E. O. Chocolate Science and Technology. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS E TÉCNICAS. Escalas utilizadas em análise sensorial de alimentos e bebidas – NBR 14141. Rio de Janeiro, 1998.
- BOLDORI, Jean Ramos et al. Análise físico-química e sensorial de bolos utilizando alfarroba (*Ceratonia siliqua L.*) como substituto do cacau. *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*, p. 491-501, 2021.
- CARVALHO MOREIRA, et al. Vassoura-de-bruxa do cacaueiro: sintomas e efeitos na planta. In: EFRAIM, (Org.). Estudos sobre *Moniliophthora perniciosa*. [S.l.: s.n.], 2009.
- CHNAWANG, M. T., et al. Comparison of bioactive compounds content, free radical scavenging and anti-acne inducing bacteria activities of extracts from the mangosteen fruit rind at two stages of maturity. *Elsevier Journal*, v. 80, p. 442-447, 2009.
- CORRÊA, Sofia et al. Uso da alfarroba como substituto do cacau na preparação de brigadeiro. 2016.
- DAYANE, S. et al. Determinação de vitamina C em suco de frutas in natura e industrializados por cromatografia líquida e titulação iodométrica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/12336/1/LD_COLIQ_2018_1_01.pdf. Acesso em: 15 set. 2025.
- DEGÁSPARI, C. H.; WASZCZYNSKYJ, N.; SANTOS, R. J. dos. Atividade antioxidante de extrato de fruto de Aroeira (*Schinus terebenthifolius Raddi*). *Visão Acadêmica*, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 83-90, 2004.
- EMBRAPA. Produção de manga no Brasil: dados e perspectivas. Brasília: Embrapa, 2023.
- FAO. FAOSTAT – Production of mangoes worldwide. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 15 set. 2025.



FERNANDES, R. Impacto da doença vassoura-de-bruxa na produção de cacau. Revista Agropecuária, v. 15, n. 2, p. 23–30, 2020.

FRANCO, M. R. B.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.; LANÇAS, F. M. Compostos voláteis de três cultivares de manga (*Mangifera indica L.*). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 24, n. 2, p. 165–169, jun. 2004. 15

GEORGÉ, Stephane et al. Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products. Journal of Agricultural and Food Chemistry, n. 53, p. 1370-1373, 2005.

GRAMACHO, F. et al. Desenvolvimento de vassouras vegetais e deformações em frutos de cacau. In: EFRAIM, (Org.). Estudos sobre *Moniliophthora perniciosa*. [S.l.: s.n.], 2009.

HURST, W. Jeffrey et al. Cacao usage by the earliest Maya civilization. Nature, v. 418, n. 6895, p. 289-290, 2002.

IBGE. Produção agrícola municipal – cacau. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2009. IBGE. Produção agrícola municipal – cacau. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2020.

JORGE, N.; MALACRIDA, C. R. Aproveitamento de resíduos de frutas para extração de compostos bioativos. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 28, n. 3, p. 345–352, 2008.

KUSKOSKI, E. M. et al. Aplicação de reagentes colorimétricos na determinação de compostos fenólicos. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 25, n. 4, p. 726–732, 2005.

LOPES, U. V.; MONTEIRO, W. R. Vassoura-de-bruxa do cacaueiro: avanços no entendimento do patossistema. Agrotrópica, v. 25, p. 1–10, 2013. MINIM, V. P. R.;

CECCHI, H. M.; MINIM, L. A. Determinação de substitutos da manteiga de cacau em coberturas de chocolate através da análise de triacilgliceróis. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v. 19, n. 2, p. 199–204, maio 1999.

OLIVEIRA, Bruno; DE ASSIS, Pablo Roberto. Do cacau ao chocolate: uma análise dos desafios encontrados por empreendedores do ramo da agroindústria do cacau no sul da Bahia. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, v. 9, n. 9, p. 4799-4816, 2023.



OLIVEIRA, Taís Silva de. Avaliação da composição química e atividade antioxidante do fruto e da bebida alcoólica fermentada de Jamelão (*Syzygium cumini* Lamark). 2009. 100p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2009.

OKAI, D. B.; ABOAGYE, J. The effects of mango seed kernel meal (MSKM) on the performance of growing rats. *Biol. Wastes*, v. 34, n. 2, p. 171-175, 1990.

PELLISSARI, G. P. Estudo Farmacognóstico e avaliação das atividades antibacteriana e imunomoduladora de *Melampodium divaricatum* (RICH. IN PERS.) DC. (ASTERACEAE). 2008. 176 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Araraquara.

PINTO, Jailson Mauricio et al. Cacaucultura no Brasil: análise bibliográfica de como a luz altera a eficiência fotossintética em genótipos do cacau. *Agriculturae*, v. 4, n. 1, p. 22-31, 2022.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.R-project.org>. Acesso em: 15 set. 2025.

SHUI, G.; LEONG, L. P. Residues of mango as sources of antioxidants and bioactive compounds. *Food Chemistry*, v. 95, p. 406–414, 2006.

SILVA, R. et al. Bioeconomia circular e inovação sustentável no setor agroalimentar. *Revista Sustentabilidade em Debate*, v. 12, p. 98–110, 2021.

SOONG, Y. Y.; BARLOW, P. J. Antioxidant activity and phenolic content of mango (*Mangifera indica* L.) peel and flesh. *Food Chemistry*, v. 88, n. 3, p. 409–415, 2004