



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FELIPE DE LIMA FRANZEN

**DESENVOLVIMENTO E PERFIL SENSORIAL DE CHOCOLATE AMARGO COM
ADIÇÃO DE EXTRATOS VEGETAIS**

**CAMPINAS
2024**

FELIPE DE LIMA FRANZEN

**DESENVOLVIMENTO E PERFIL SENSORIAL DE CHOCOLATE AMARGO COM
ADIÇÃO DE EXTRATOS VEGETAIS**

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Alimentos e Nutrição.

Orientadora: Dr^a. Helena Maria André Bolini

ESTE TRABALHO CORRESPONDE À
VERSÃO FINAL DA TESE
DEFENDIDA PELO ALUNO FELIPE
DE LIMA FRANZEN, E ORIENTADA
PELA PROF^a. DR^a. HELENA MARIA
ANDRÉ BOLINI.

CAMPINAS

2024

FICHA CATALOGRÁFICA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS (UNICAMP)
BIBLIOTECA DA FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CLAUDIA APARECIDA ROMANO - CRB 8/5816

F858d Franzen, Felipe de Lima, 1986-
Desenvolvimento e perfil sensorial de chocolate amargo com adição de extratos vegetais / Felipe de Lima Franzen. – Campinas, SP : [s.n.], 2024.

Orientador: Helena Maria André Bolini.
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP),
Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1. Avaliação sensorial. 2. Compostos bioativos. 3. Novos produtos. 4. Plantas medicinais. 5. *Theobroma cacao* L. I. Bolini, Helena Maria André. II. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia de Alimentos. III. Título.

Informações complementares

Título em outro idioma: Development and sensory profile of dark chocolate with added plant extracts

Palavras-chave em inglês:

Sensory evaluation

Bioactive compounds

New products

Medicinal plants

Theobroma cacao L.

Área de concentração: Consumo e Qualidade de Alimentos

Titulação: Doutor em Alimentos e Nutrição

Banca examinadora:

Helena Maria André Bolini [Orientador]

Priscilla Efraim

Ruann Janser Soares de Castro

Mari Silvia Rodrigues de Oliveira

Valdecir Luccas

Data de defesa: 13-12-2024

Programa de Pós-Graduação: Alimentos e Nutrição

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-8925-4098>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/8255038544132776>

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Helena Maria André Bolini

Presidente

Universidade Estadual de Campinas - FEA/UNICAMP

Prof^a. Dr^a. Priscilla Efraim

Membro Titular

Universidade Estadual de Campinas - FEA/UNICAMP

Prof. Dr. Ruann Janser Soares de Castro

Membro Titular

Universidade Estadual de Campinas - FEA/UNICAMP

Prof^a. Dr^a. Mari Silvia Rodrigues de Oliveira

Membro Titular Externo

Universidade Federal de Santa Maria – CCR/UFSM

Prof. Dr. Valdecir Luccas

Membro Titular Externo

Instituto de Tecnologia de Alimentos - Cereal Chocotec/ITAL

A Ata de Defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertações/Teses e na Secretaria do Programa de Pós-Graduação

DEDICATÓRIA

“Nunca permita que algum obstáculo impeça você de voar, sua esperança de florir e seus sonhos de serem concretizados. Nunca desanime perante uma tentativa falhada, um erro no seu caminho, o medo perturbante. Se isso estiver acontecendo, lembre-se que no seu coração existe a coragem e na sua mente a determinação que precisa. Use essas armas a seu favor e conquiste a vitória que deseja”.

Autor desconhecido

Com todo meu amor dedico esta TESE aqueles que foram primordiais para a construção da minha essência, meus PAIS. Guiados pelos princípios da humildade, força e coragem. Em cada gesto florescia um exemplo de honestidade e esperança, que me encoraja a aproveitar cada oportunidade, me motivando e reforçando minha fé. Amo vocês, “DONA DILMA” e “SEU CELSO”.

“A culinária é multissensorial, ela se direciona aos olhos, à boca, ao nariz, aos ouvidos, a todos os sentidos e ao espírito. Nenhuma arte tem essa complexidade.”
(Pierre Gagnaire, chef francês)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre ao meu lado me dando forças para seguir em frente e vencer as batalhas cotidianas.

Aos meus pais Dilma de Lima Franzen e Celso Augusto Fontoura Franzen, por todo amor, carinho e apoio nos momentos de dúvida e insegurança, por tudo que sempre me ensinaram e por me proporcionarem sempre às melhores condições de estudo, me incentivando nas minhas conquistas sem os quais não chegaria até aqui.

Aos meus irmãos, Me. Msto. Celso Augusto Fontoura Franzen Junior e Arq. Gilnei de Lima Franzen, pela compreensão nas horas difíceis, por todo apoio e incentivo no meu crescimento e por torcerem para que tudo desse certo sempre.

À minha sobrinha e princesa do meu coração Hadassa Franzen, por ser minha luz, minha estrela que ilumina meu caminho.

Às empresas fornecedoras das matérias primas para elaboração do produto chocolate: Givaudan®, CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil; Cargill Inc, Brasil; Açúcareira Boa Vista, Limeira, SP, Brasil; e Piracanjuba®, Bela Vista de Goiás, Goiás, Brasil.

À minha orientadora mais que especial Professora Helena Maria André Bolini, pela confiança na minha capacidade, pelas palavras de apoio e incentivo ao meu crescimento pessoal e profissional, agradeço pela orientação e por tudo que me ensinou. Obrigado pela dedicação, confiança, amizade e principalmente pelo bom convívio nestes muitos anos de trabalho.

Aos professores membros da banca Professoras Mari Silvia Rodrigues de Oliveira e Priscilla Efraim, e Professores Valdecir Luccas e Ruann Janser Soares de Castro, que estiveram e estão sempre presentes e prontos para me auxiliar no que for preciso, meus sinceros agradecimentos pelas considerações e sugestões essenciais para com este trabalho.

Agradeço aos consumidores e assessores que realizaram os testes sensoriais do meu chocolate, em especial o grupo de pesquisa do Laboratório de Ciência Sensorial e Estudo do Consumidor (LCSEC), coordenados pela Professora Helena Bolini.

Agradeço a Dr^a Alessandra Cazelatto, Professoras Dr^a Cecilia Teresa Muniz, Dr^a Mari Silvia de Oliveira, ao Professor Dr. Rafael Sousa Lima e aos colegas

Ms^a Erika Yumi Hiramatsu, Ms. Pedro Pio e Ms^a Isabela Portelinha Tonin, pela amizade nesses longos anos de trabalho dessa tese e principalmente pela ajuda na realização dos testes e na escrita dos artigos oriundos desta pesquisa, e que me acompanham desde o início dessa jornada.

Agradeço as minhas amigas, que o doutorado e Campinas me presentearam e que foram a minha família durante a pandemia de Covid-19, a Dr^a. Fernanda Ludtke, Dr^a. Fernanda Procópio, Dr^a. Maria Isabel Neves, Dr^a. Monique Strieder e Ms^a Carolina Maloper, todas sempre dispostas a me ajudar em todas as fases desse trabalho, além de dividir o companheirismo e amizades sinceras que vou levar para a vida.

Agradeço a todos meus amigos do Rio Grande do Sul pela paciência e por muitas vezes entenderem a minha ausência nos encontros e momentos especiais.

Aos laboratórios que me receberam e auxiliaram no desenvolvimento dessa pesquisa, em especial o Cereal Chocotec no ITAL, a “Angeliquinha” pela ajuda no desenvolvimento do chocolate na planta piloto.

A CAPES pela bolsa de doutorado para a execução deste trabalho.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da UNICAMP, pelos ensinamentos para a minha formação, assim como os demais professores da Faculdade que, de alguma forma, contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

As instituições de ensino, pesquisa e extensão que colaboraram com essa pesquisa: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – Campus Codó (IFMA), Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL) e Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Enfim, agradeço de coração a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho e para minha formação.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001.

RESUMO

DESENVOLVIMENTO E PERFIL SENSORIAL DE CHOCOLATE AMARGO COM ADIÇÃO DE EXTRATOS VEGETAIS

AUTOR: Felipe de Lima Fanzen
ORIENTADORA: Helena Maria André Bolini

As plantas são ricas em compostos bioativos, como vitaminas, minerais, antioxidantes, flavonoides e polifenóis, que têm potenciais benefícios à saúde. Esses compostos ajudam na prevenção de doenças crônicas, como diabetes, doenças cardiovasculares e câncer, além de melhorarem a imunidade. O mercado atual tem uma demanda crescente por alimentos funcionais, ou seja, produtos que oferecem benefícios adicionais à saúde além da nutrição básica. A incorporação de extratos vegetais em alimentos como chocolates, sucos e cereais responde a essa tendência de consumidores que buscam alimentos com propriedades funcionais, como ação anti-inflamatória, energética e digestiva. Extratos vegetais podem enriquecer o sabor, aroma, cor e textura dos alimentos. Plantas como canela, hibisco e guaraná oferecem aromas e sabores únicos que podem tornar os produtos mais atraentes para diferentes públicos, diversificando o mercado de produtos alimentícios. Alguns extratos vegetais possuem propriedades tecnológicas que melhoram a qualidade e a estabilidade dos alimentos. Os antioxidantes naturais podem aumentar a vida útil dos produtos, retardando a oxidação de lipídios em alimentos como chocolates. O objetivo desse estudo foi desenvolver um chocolate enriquecido com extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate. Os extratos foram selecionados devido à presença de compostos bioativos conhecidos por proporcionarem benefícios à saúde, como antioxidantes e propriedades anti-inflamatórias. Cada extrato conferiu ao chocolate características sensoriais únicas, como textura, sabor e aroma distintos. A Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®) revelou perfis sensoriais distintos para cada amostra. O chocolate com hibisco foi percebido como mais ácido e floral, enquanto o com canela apresentou um equilíbrio entre aroma de especiarias e doçura. O chocolate com jambu apresentou um efeito químico tátil diferente e inovador e despertou curiosidade, que sugere um nicho de mercado para consumidores que buscam experiências sensoriais únicas. A pesquisa de aceitação do consumidor destacou que os chocolates com erva-mate e açaí foram os mais bem avaliados devido ao equilíbrio de sabor e intensidade de doçura. Por outro lado, o jambu despertou curiosidade e preferências divergentes, sugerindo um nicho de mercado para consumidores em busca de experiências sensoriais únicas. Os chocolates apresentaram elevação nos teores de fenólicos totais (TPC) e flavonoides totais (TFC), com destaque para os chocolates com extrato de hibisco e com extrato de erva-mate. O hibisco apresentou o maior TPC, mostrando uma alta concentração de compostos fenólicos. Já o chocolate com extrato de erva-mate destacou-se com o maior TFC, devido à presença de flavonoides como catequinas. Nos ensaios de potencial antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP), o chocolate com extrato de erva-mate (CM) teve o melhor resultado nos métodos ABTS e FRAP, evidenciando seu alto potencial antioxidante, especialmente na neutralização de radicais livres. Este efeito antioxidante diversificado entre os métodos (DPPH, ABTS e FRAP) sugere que a combinação de extratos vegetais pode contribuir para uma ação antioxidante mais ampla e eficaz. As análises reológicas mostraram que os extratos vegetais afetaram

a viscosidade plástica e a tensão de ruptura, que pode influenciar na textura e na percepção sensorial. A adição de extratos vegetais não só melhora o valor nutricional dos chocolates, com benefícios antioxidantes, mas também diversifica os perfis sensoriais, oferecendo produtos diferenciados no mercado. Essas características são vantajosas para atender a demandas de consumidores por alimentos mais saudáveis e funcionais. Além disso, o uso de extratos de plantas nativas e exóticas no desenvolvimento de novos produtos amplia o potencial de inovação na indústria alimentícia.

Palavras-chave: Análise sensorial. Compostos bioativos. Novos produtos. Plantas medicinais. *Theobroma cacao* L..

ABSTRACT

DEVELOPMENT AND SENSORY PROFILE OF BITTER CHOCOLATE WITH ADDITION OF PLANT EXTRACTS

AUTHOR: Felipe de Lima Franzen

ADVISOR: Helena Maria André Bolini

Plants are rich in bioactive compounds such as vitamins, minerals, antioxidants, flavonoids, and polyphenols, which have potential health benefits. These compounds help prevent chronic diseases such as diabetes, cardiovascular diseases, and cancer, in addition to improving immunity. The current market has a growing demand for functional foods, i.e., products that offer additional health benefits beyond basic nutrition. The incorporation of plant extracts into foods such as chocolates, juices, and cereals aligns with this trend, catering to consumers seeking functional properties like anti-inflammatory, energy-boosting, and digestive effects. Plant extracts can enhance the flavor, aroma, color, and texture of foods. Plants such as cinnamon, hibiscus, and guarana provide unique aromas and flavors that can make products more appealing to different audiences, diversifying the food market. Some plant extracts also possess technological properties that improve the quality and stability of food products. Natural antioxidants can extend shelf life by delaying lipid oxidation in foods like chocolate. The objective of this study was to develop chocolate enriched with extracts of açai, cinnamon, guarana, hibiscus, jambu, and yerba mate. These extracts were selected due to their bioactive compounds known for providing health benefits, such as antioxidants and anti-inflammatory properties. Each extract contributed unique sensory characteristics to the chocolate, such as distinct texture, flavor, and aroma. The Quantitative Descriptive Analysis (QDA®) revealed distinct sensory profiles for each sample. Hibiscus chocolate was perceived as more acidic and floral, while cinnamon chocolate presented a balance between spiced aroma and sweetness. Jambu chocolate exhibited a unique tactile chemical effect, sparking curiosity and suggesting a niche market for consumers seeking novel sensory experiences. Consumer acceptance research highlighted that chocolates with yerba mate and açai received the highest ratings due to their balanced flavor and sweetness intensity. On the other hand, jambu evoked curiosity and polarized preferences, suggesting a market niche for consumers in search of unique sensory experiences. The chocolates showed an increase in total phenolic content (TPC) and total flavonoid content (TFC), with hibiscus and yerba mate chocolates standing out. Hibiscus had the highest TPC, indicating a high concentration of phenolic compounds, while yerba mate chocolate exhibited the highest TFC due to the presence of flavonoids such as catechins. In antioxidant potential assays (DPPH, ABTS, and FRAP), yerba mate extract chocolate (CM) performed best in the ABTS and FRAP methods, demonstrating its high antioxidant potential, especially in neutralizing free radicals. The varying antioxidant effects across the different methods (DPPH, ABTS, and FRAP) suggest that combining plant extracts may contribute to a broader and more effective antioxidant action. Rheological analyses showed that plant extracts influenced plastic viscosity and yield stress, which can impact texture and sensory perception. The addition of plant extracts not only enhances the nutritional value of chocolates with antioxidant benefits but also diversifies their sensory profiles, offering differentiated products in the market. These characteristics are advantageous in meeting consumer demands for healthier and

more functional foods. Furthermore, the use of native and exotic plant extracts in the development of new products expands the potential for innovation in the food industry.

Keywords: Sensory analysis. Bioactive compounds. New products. Medicinal plants. *Theobroma cacao* L..

Lista de Tabelas

Tabela 1 - (Table 1 do artigo) Evidence of the effectiveness of <i>Euterpe oleraceae</i> Martius., <i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume, <i>Paullinia cupana</i> Kunth, <i>Hibiscus sabdariffa</i> DC., <i>Spilanthes oleraceae</i> L. and <i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil. plants for health benefits.	42
Tabela 2 - (Tabela 1 do artigo) Bases de dados e termos utilizados neste estudo e número de resultados.	63
Tabela 3 - (Tabela 2 do artigo) Características das populações do gênero <i>Theobroma</i>	67
Tabela 4 - (Table 1 do artigo) Total phenolic contents (TPC) and antioxidant potential measured by ABTS- and DPPH- radicals scavenging activities and FRAP assay of the plant extracts.	118
Tabela 5 - (Table 2 do artigo) Results of the physicochemical characterization, color parameters, and particle size of the plant extracts.	125
Tabela 6 - (Table 3 do artigo) Elemental composition of guarana, hibiscus, and dried mate extracts by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS).	127
Tabela 7 - (Tabela 1 do artigo) Extratos vegetais utilizados na pesquisa.	145
Tabela 8 - (Tabela 2 do artigo) Porcentagem dos ingredientes da formulação dos chocolates com adição dos diferentes extratos vegetais.	147
Tabela 9 - (Tabela 3 do artigo) Atributos e descrições sensoriais definidos para a análise sensorial de TDS.	148
Tabela 10 - (Tabela 4 do artigo) Médias de aceitação das amostras de chocolates comparadas entre si em cada região do Brasil.	155
Tabela 11 - (Tabela 5 do artigo) Médias de aceitação das amostras de chocolates comparadas entre as 3 regiões do Brasil.	156
Tabela 12 - (Tabela 1 do artigo) Extratos vegetais utilizados na pesquisa.	180
Tabela 13 - (Tabela 2 do artigo) Porcentagem dos ingredientes da formulação dos chocolates com adição dos diferentes extratos vegetais.	181
Tabela 14 - (Tabela 3 do artigo) Definições dos termos descritivos e padrões de referência escolhidos pelo grupo de assessores selecionados para realização da ADQ.	183
Tabela 15 - (Tabela 4 do artigo) Descrição dos atributos e definições de referências utilizadas no treinamento dos avaliadores para o teste tempo-intensidade aplicado em chocolates elaborados com extratos vegetais.	189
Tabela 16 - (Tabela 5 do artigo) Resultado da ADQ® com as médias das notas dos assessores para cada termo descritor, realizada em chocolates com adição de	

extratos de açaí (CA), canela (CC), guaraná (CG), hibisco (CH), jambu (CJ) e erva-mate (CM).192

Tabela 17 - (Tabela 6 do artigo) Resultados do teste Tempo-Intensidade realizado nos chocolates com adição de extratos de açaí (CA), canela (CC), guaraná (CG), hibisco (CH), jambu (CJ) e erva-mate (CM).197

Tabela 18 - (Tabela 1 do artigo) Extratos vegetais utilizados na pesquisa.206

Tabela 19 - (Tabela 2 do artigo) Porcentagem dos ingredientes da formulação dos chocolates com adição dos diferentes extratos vegetais.207

Tabela 20 - (Tabela 3 do artigo) Resultados das análises de composição proximal, pH, acidez titulável, cor e tamanho máximo de partículas das amostras de chocolate amargo elaborado com extratos vegetais.216

Tabela 21 - (Tabela 4 do artigo) Resultados da avaliação das propriedades reológicas das amostras de chocolate amargo elaborado com extratos vegetais.218

Tabela 22 - (Tabela 5 do artigo) Resultados dos testes microbiológicos dos chocolates elaborados.....223

Tabela 23 - (Tabela 6 do artigo) Resultados da determinação de compostos bioativos TPC e TFC dos chocolates elaborados com extratos vegetais.224

Tabela 24 - (Tabela 7 do artigo) Avaliação do potencial antioxidante dos chocolates elaborados com extratos vegetais, medidos pelas atividades de eliminação de radicais ABTS e DPPH e FRAP226

Lista de Figuras

Figura 1 - Etapas e critérios do processo de busca e triagem de literatura usando o fluxograma Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).	62
Figura 2 – Diagrama esquemático do processamento de grãos/sementes de cacau e produção de chocolate.....	90
Figura 3 – (Figura 1 do artigo) Mapa do Brasil e suas Regiões Geográficas.	150
Figura 4 – (Figura 2 do artigo) Ilustrações das 7 diferentes embalagens dos chocolates utilizadas nos testes de aceitação no Brasil.	152
Figura 5 – (Figura 3 do artigo) Mapa Interno de Preferência da análise estatística multivariada de componentes principais das notas de aceitação global individuais dos consumidores das três regiões analisadas do Brasil, em relação as 7 amostras de chocolates.	159
Figura 6 - (Figura 4 do artigo) Resultados da análise de dominância das sensações dos atributos avaliados em função do tempo, dos diferentes chocolates.....	160
Figura 7 - (Figura 5 do artigo) Resultado do teste Just-About-Right das amostras de chocolates. A: região Sul, B: região Sudeste e C: região Nordeste.....	161
Figura 8 - (Figura 6 do artigo) Resultados da intenção de compra dos chocolates. A: região Sul, B: região Sudeste e C: região Nordeste.....	163
Figura 9 - (Figura 7A do artigo) Resultado da Análise de Coordenadas Principais para o teste Check all That Apply, das 7 amostras de chocolates, para a região Sul.	164
Figura 10 - (Figura 7B do artigo) Resultado da Análise de Coordenadas Principais para o teste Check all That Apply, das 7 amostras de chocolates, para a região Sudeste.	164
Figura 11 - (Figura 7C do artigo) Resultado da Análise de Coordenadas Principais para o teste Check all That Apply, das 7 amostras de chocolates, para a região Nordeste.....	165
Figura 12 - (Figura 8 do artigo) Resultado da Análise de Correspondência Múltipla (ACM) da frequência de escolha das embalagens pelo teste de aceitação dos chocolates no Brasil.	167
Figura 13 - (Figura 1 do artigo) Imagem bidimensional da Análise de Componentes Principais (PCA) dos termos descritores das amostras de chocolate amargo elaborados com extratos vegetais.	194
Figura 14 - (Figura 2 do artigo) Direcionadores de preferência das características sensoriais em função da aceitação determinados por partial least square.....	195
Figura 15 - (Figura 3 do artigo) Relação (influência) dos termos descritores na impressão global das amostras de chocolate amargo elaborados com extratos vegetais.	196

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL	17
OBJETIVO GERAL.....	27
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	27
CAPÍTULO 1 – Manuscrito de Revisão	28
A review of six medicinal and aromatic plants and their health benefits	28
Introduction.....	30
Search methodology	31
Data analysis and context	31
Conclusions.....	47
References	48
CAPÍTULO 2 – Manuscrito de Revisão	60
Cacau: História, Processamento e Benefícios – Uma Revisão	60
Introdução	60
Métodos	62
Discussão.....	64
Considerações Finais.....	97
Referências	98
CAPÍTULO 3 – Manuscrito Científico.....	111
Physicochemical characterization and antioxidant potential of plant extracts for use in foods.....	111
Introduction.....	113
Materials and methods	115
Results and discussion.....	117
Conclusion.....	128
References	129
CAPÍTULO 4 – Manuscrito Científico.....	141

Perfil sensorial de chocolates amargos elaborados com diferentes extratos vegetais	141
Introdução	142
Material e Métodos.....	144
Resultados e Discussão	153
Conclusão	169
Referências	170
CAPÍTULO 5 – Manuscrito Científico.....	177
Perfil sensorial descritivo de chocolates amargos elaborados com extratos vegetais	177
Introdução	178
Material e Métodos.....	179
Resultados	189
Conclusão	199
Referências	200
CAPÍTULO 6 – Manuscrito Científico.....	202
Caracterização físico-química, microbiológica e potencial antioxidante de chocolate amargo elaborado com diferentes extratos vegetais.....	202
Introdução	203
Material e Métodos.....	206
Resultados e Discussão.....	211
Conclusão	227
Referências	228
DISCUSSAO GERAL	235
CONCLUSÃO GERAL.....	239
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS	241

INTRODUÇÃO GERAL

A alimentação e a nutrição desempenham papéis fundamentais na manutenção da saúde e no bem-estar das pessoas. A relação entre o que consumimos e nosso estado de saúde é complexa e heterogênea, englobando não apenas a ingestão de calorias e nutrientes, mas também a qualidade e variedade dos alimentos que compõem a dieta (Hales *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, o campo da nutrição tem se expandido significativamente, impulsionado por uma crescente conscientização sobre a importância de uma alimentação equilibrada e pelo avanço das pesquisas científicas que explicam as interações entre os componentes alimentares e o organismo humano (Agyemang *et al.*, 2024; Kabasakal-Cetin; Aksaray, Sen, 2024).

Os alimentos fornecem os nutrientes essenciais para as funções vitais do organismo, incluindo carboidratos, proteínas, lipídios, vitaminas e minerais. Além desses nutrientes, muitos alimentos contêm compostos bioativos, como antioxidantes, que têm sido amplamente estudados por seus potenciais benefícios à saúde, incluindo a prevenção de doenças crônicas como diabetes, doenças cardiovasculares e certos tipos de câncer (Mateus; Pena; Sanches-Silva, 2024; Wu *et al.*, 2024).

A globalização e as mudanças no estilo de vida têm modificado padrões alimentares ao redor do mundo, levando a um aumento no consumo de alimentos processados e a uma diminuição na ingestão de alimentos frescos e nutritivos. Este cenário tem contribuído para o aumento de estudos de alimentos processados com ingredientes naturais que possam substituir ingredientes sintéticos, ressaltando a necessidade de pesquisas eficazes para promover o consumo de alimentos e produtos saudáveis (Yuan *et al.*, 2021; Garnett *et al.*, 2023; Kenney *et al.*, 2024).

Assim, há uma necessidade da criação de produtos alimentícios que atendam às necessidades nutricionais da população mundial, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida e a promoção da saúde global (Anderson, 2022).

Plantas, frutas, grãos, sementes e ervas são essenciais para uma boa dieta e nutrição. Esses alimentos fornecem uma rica fonte de vitaminas, minerais, fibras e compostos bioativos que desempenham funções importantes na manutenção da saúde e na prevenção de doenças. Há um avanço nas pesquisas científicas com interesse em uma alimentação mais saudável e sustentável e o uso de produtos

vegetais em alimentos tem se expandido, indo além de suas funções nutricionais tradicionais (Mariutti *et al.*, 2021; Arunachalam; Sreeja; Yang, 2023; Vignesh *et al.*, 2024).

Nos últimos anos, a indústria alimentícia tem explorado cada vez mais os extratos vegetais como ingredientes funcionais e conservantes naturais. Esses extratos são valorizados não apenas por sua capacidade de enriquecer o valor nutricional dos alimentos, mas também por seu potencial antioxidante, antimicrobiano e anti-inflamatório, que pode prolongar a vida útil dos produtos, melhorar suas propriedades sensoriais e promover benefícios à saúde (Nxumalo; Aremu; Fawole, 2023; Tak *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2024).

Além disso, a demanda por alimentos à base de plantas (*plant-based*) tem aumentado significativamente, impulsionada por consumidores que buscam alternativas mais saudáveis, que se preocupam com a sustentabilidade ambiental. Como resultado, os produtos vegetais estão sendo incorporados em uma ampla gama de alimentos, desde bebidas, substitutos de carne e laticínios, além de produtos de panificação e confeitaria. Esta tendência reflete uma mudança nos padrões de consumo, onde a funcionalidade e a sustentabilidade dos alimentos são tão importantes quanto a sua aparência, sabor e textura (Bryant, 2022; Raja; Kadirvel; Subramaniyan, 2022; Carey *et al.*, 2023; Giezenaar *et al.*, 2024).

O uso de produtos vegetais em alimentos também abre novas possibilidades para o desenvolvimento de ingredientes inovadores, capazes de atender a necessidades específicas, como dietas especiais e restrições alimentares. Extratos vegetais, em particular, têm se destacado por seu potencial em fornecer compostos bioativos com propriedades benéficas para a saúde, que podem não apenas melhorar a qualidade nutricional dos alimentos, mas também contribuir para a saúde geral dos consumidores (Hewage *et al.*, 2022; Araujo *et al.*, 2024; Jia *et al.*, 2024).

Em suma, a inclusão de produtos vegetais na formulação de alimentos representa um campo dinâmico e promissor, que responde às demandas por uma alimentação mais natural, funcional e sustentável. Essa abordagem não só beneficia a saúde dos consumidores, mas também promove práticas alimentares que estão alinhadas com a preservação do meio ambiente e a promoção do bem-estar coletivo (Mariutti *et al.*, 2021; Ihsan *et al.*, 2023; Lee; Leong; Oey, 2023).

O chocolate, produto amplamente apreciado em todo o mundo, possui uma história rica e fascinante que remonta a antigas civilizações mesoamericanas. A história do chocolate começa nas civilizações antigas da América Central, onde o cacau era reverenciado como uma planta sagrada (Verna, 2013).

Os Maias, por volta de 1500 a.C., foram uma das primeiras culturas a cultivar o cacau e a utilizá-lo na forma de uma bebida amarga, conhecida como "xocoatl". Esta bebida, geralmente misturada com especiarias como pimenta, era consumida em rituais religiosos e em celebrações, simbolizando riqueza e poder. Mais tarde, os Astecas adotaram o cacau, que também era utilizado como moeda e oferecido como tributo aos deuses (Amaya; Pabón, 2017).

Com a chegada dos colonizadores espanhóis ao Novo Mundo no século XVI, o cacau foi levado para a Europa. Inicialmente, o chocolate manteve seu caráter amargo, sendo adoçado com mel ou açúcar para se adequar ao paladar europeu. O consumo de chocolate rapidamente se tornou popular entre as classes aristocráticas, e, à medida que o comércio global de açúcar cresceu, a produção e o consumo de chocolate se expandiram (Amaya; Pabón, 2017; Montagna *et al.*, 2019).

No século XIX, a Revolução Industrial trouxe inovações tecnológicas que transformaram o chocolate em um produto acessível a uma parcela maior da população. A invenção da prensa de cacau por Coenraad van Houten, em 1828, permitiu a separação da manteiga de cacau e do pó de cacau, facilitando a produção de chocolate sólido. Posteriormente, a adição de leite em pó por Daniel Peter e Henri Nestlé, em 1875, resultou na criação do chocolate ao leite, que se tornaria um dos tipos mais populares de chocolate no mundo (Beg *et al.*, 2017; Chévez-Vera *et al.*, 2021).

O interesse nos benefícios do chocolate para a saúde tem crescido nas últimas décadas, com diversos estudos focando nos efeitos dos flavonoides, particularmente as catequinas e epicatequinas, encontrados em alta concentração no cacau. Estes compostos são conhecidos por suas potentes propriedades antioxidantes, capazes de neutralizar radicais livres e reduzir o estresse oxidativo, um fator-chave no desenvolvimento de doenças crônicas (Moramarco; Nemi, 2016; Veronese *et al.*, 2019; Cinar *et al.*, 2021; Fusar-Poli *et al.*, 2022; Frumuzachi *et al.*, 2024).

Um dos principais benefícios associados ao consumo de chocolate, especialmente o amargo, é a melhora da saúde cardiovascular. Flavonoides do cacau têm demonstrado a capacidade de aumentar a produção de óxido nítrico (NO), um vasodilatador natural, que ajuda a relaxar os vasos sanguíneos, reduzir a pressão arterial e melhorar o fluxo sanguíneo. Além disso, o chocolate pode melhorar a função endotelial, reduzir a agregação plaquetária e diminuir a inflamação, todos fatores que contribuem para a proteção contra doenças cardiovasculares (Veronese *et al.*, 2019; Sperkowska *et al.*, 2021; Frumuzachi *et al.*, 2024).

Outro aspecto interessante do chocolate é o seu potencial efeito neuroprotetor. Estudos sugerem que os flavonoides podem atravessar a barreira hematoencefálica e exercer efeitos positivos no cérebro, melhorando a função cognitiva e possivelmente reduzindo o risco de neurodegeneração. Além disso, o consumo de chocolate pode influenciar o humor, devido à presença de compostos como a teobromina e o triptofano, que atuam como precursores de neurotransmissores como a serotonina (Mastroiacovo *et al.*, 2015; Lin *et al.*, 2016; Fusar-Poli *et al.*, 2022).

No entanto, é importante ressaltar que os benefícios para a saúde são mais pronunciados no consumo de chocolate com alto teor de cacau e baixo teor de açúcar, como o chocolate amargo. O consumo excessivo de chocolate ao leite ou com adição de açúcares e gorduras pode contrabalançar os efeitos benéficos, contribuindo para o ganho de peso e outros problemas metabólicos (Mellor *et al.*, 2018; Tan *et al.*, 2021).

O processamento do chocolate começa na propriedade rural, onde as sementes de cacau são removidas dos frutos da árvore *Theobroma cacao* L.. Após a colheita, as sementes são fermentadas por vários dias, um processo essencial para o desenvolvimento dos precursores de sabor do chocolate. Durante a fermentação, as sementes adquirem uma cor marrom e começam a desenvolver o sabor característico do cacau (Kitani; Putri; Fukusaki, 2022; Silveira *et al.*, 2024).

Após a fermentação, as sementes são secas ao sol ou em secadores, o que reduz a umidade e prepara as amêndoas para a etapa de torrefação. A torrefação é um dos processos mais importantes na produção de chocolate, pois desenvolve os sabores e aromas complexos do cacau. A temperatura e o tempo de torrefação são ajustados de acordo com a variedade de cacau e o tipo de chocolate que se deseja produzir (Haruna *et al.*, 2024; Foster *et al.*, 2024; Mougang *et al.*, 2024).

Depois de torradas, as amêndoas de cacau são descascadas e quebradas para remover a casca externa, separando dos *nibs* de cacau, que são então trituradas para formar a massa de cacau. A massa de cacau pode ser usada diretamente para produzir chocolate amargo ou separada em manteiga de cacau e pó de cacau. A manteiga de cacau é o ingrediente principal que confere ao chocolate sua textura suave e fundente (Servent *et al.*, 2018; Akoa *et al.*, 2023).

A partir desses ingredientes básicos, diferentes tipos de chocolate são formulados. O chocolate amargo contém apenas massa de cacau, manteiga de cacau e açúcar, enquanto o chocolate ao leite inclui o leite em pó. O chocolate branco, por suavez, é feito exclusivamente de manteiga de cacau, leite e açúcar, sem a adição de sólidos de cacau (Beckett, 2017; Mellor *et al.*, 2018; Beckett, 2019).

As etapas do processamento do chocolate envolvem a mistura dos ingredientes, o refino visando a redução do tamanho das partículas, a conchagem, onde a massa de chocolate é agitada por várias horas, e a temperagem, um processo de aquecimento e resfriamento controlado que estabiliza os cristais de manteiga de cacau, resultando em um produto com textura lisa e brilho atraente. O chocolate é então moldado, resfriado, desmoldado e embalado para comercialização e consumo (Beckett; Fowler; Ziegler, 2017; Castro-Alayo *et al.*, 2023).

O chocolate é um alimento complexo e multifacetado, cuja riqueza aromática e diversidade de sabores são o resultado de uma série de processos bioquímicos e físicos que ocorrem ao longo de sua produção, desde a fermentação das sementes de cacau até o refinamento final do produto (Ziegleder, 2017; Herrera-Rocha *et al.*, 2023).

A formação dos aromas e sabores do chocolate envolve uma combinação complexa de reações químicas, compostos voláteis e interações sensoriais que determinam as características sensoriais finais desejadas pelos consumidores (Augusto; Bolini, 2022).

A ciência sensorial desempenha um papel crucial na compreensão de como esses compostos são percebidos e avaliados, permitindo a otimização do perfil sensorial do chocolate (Andrade *et al.*, 2021; Becerra *et al.*, 2024).

A formação dos aromas e sabores no chocolate começa durante a fermentação das sementes de cacau, que é um processo essencial para o desenvolvimento dos precursores de sabor. Durante a fermentação, microrganismos

como leveduras, bactérias ácido-láticas e acéticas, degradam os açúcares da amêndoa do cacau, produzindo ácido acético e outros metabólitos que penetram nas sementes. Esse ambiente ácido e aeróbico, ativa as enzimas proteolíticas, que degradam proteínas em pequenos peptídeos e aminoácidos, precursores chave para a formação dos compostos voláteis que definirão o sabor do chocolate durante a torrefação (Andrade *et al.*, 2021; Augusto; Bolini, 2022; Herrera-Rocha *et al.*, 2023).

A etapa de secagem das sementes de cacau reduz a atividade microbiana e preserva os compostos formados durante a fermentação. No entanto, é na torrefação que ocorre a maior transformação dos precursores de sabor. A reação de *Maillard* e a degradação térmica de aminoácidos e açúcares, como a reação de Strecker, resultam na formação de uma variedade de compostos voláteis, incluindo aldeídos, pirazinas, ésteres, ácidos e cetonas. Esses compostos são responsáveis pelo perfil aromático característico do chocolate, que inclui notas de nozes, caramelo, frutas e até mesmo sabores tostados (Beckett; Fowler; Ziegler, 2017; Ziegleder, 2017; Castro-Alayo *et al.*, 2023; Herrera-Rocha *et al.*, 2023).

O refino, a conchagem e a temperagem, etapas subsequentes do processamento, refinam e equilibram os sabores do chocolate. Durante a conchagem, a massa de cacau é agitada por várias horas, o que promove a volatilização de compostos indesejados, como ácidos voláteis, ao mesmo tempo que intensifica os sabores desejáveis e homogeneíza a textura do produto. A temperagem, por sua vez, é fundamental para estabilizar os cristais de manteiga de cacau, garantindo uma sensação agradável na boca e um derretimento uniforme, que são essenciais para a experiência sensorial do consumidor (Andrade *et al.*, 2021; Augusto; Bolini, 2022).

As características sensoriais do chocolate, como aroma, sabor, textura e derretimento, são influenciadas por uma complexa interação entre os compostos voláteis, os ingredientes e o processamento. O aroma do chocolate, por exemplo, é composto por uma variedade de notas, como baunilha, floral, frutado, amargo e tostado, que resultam da combinação dos compostos voláteis formados durante a fermentação e a torrefação. O sabor, que é a percepção resultante da combinação do olfato e do paladar, inclui notas doces, amargas e ácidas, que são moduladas pelos teores de cacau, açúcar e outros ingredientes (Ziegleder, 2017; Andrade *et al.*, 2021; Herrera-Rocha *et al.*, 2023).

A ciência sensorial, que envolve a avaliação sistemática e padronizada das respostas humanas às propriedades físicas e químicas dos alimentos, é essencial para entender como essas características sensoriais são percebidas pelos consumidores (Bolini *et al.*, 2023). A análise sensorial do chocolate pode ser realizada por meio de testes descritivos, onde um painel treinado avalia e descreve as intensidades de diferentes atributos sensoriais, ou por meio de testes hedônicos, onde os consumidores expressam suas preferências (Mahato *et al.*, 2021; Ku; Liu, 2024).

A percepção dos aromas e sabores do chocolate é um fenômeno complexo, que envolve não apenas os receptores gustativos e olfativos, mas também a textura e o derretimento. A textura do chocolate, influenciada pela cristalinidade da manteiga de cacau e pelo processo de conchagem, desempenha um papel crucial na percepção sensorial, pois afeta o derretimento e a liberação dos compostos voláteis na boca, formando a percepção global do sabor (Beckett, 2019; Augusto; Bolini, 2022; Castro-Alayo *et al.*, 2023).

Além disso, fatores psicológicos, como a memória sensorial e a expectativa, também influenciam a percepção sensorial do chocolate. A experiência prévia com certos tipos de chocolate, o ambiente de consumo e até mesmo a aparência e a embalagem do produto, podem alterar a percepção dos consumidores sobre a qualidade e o sabor do chocolate (Kitani; Putri; Fukusaki, 2022; Foster, 2024; Silveira *et al.*, 2024).

A aplicação da ciência sensorial ao estudo do chocolate permite não apenas a descrição e quantificação das suas características sensoriais, mas também a correlação desses atributos com as preferências do consumidor e a otimização do produto. Técnicas instrumentais como cromatografia gasosa são frequentemente utilizadas para identificar e quantificar os compostos voláteis presentes no chocolate, enquanto que análises estatísticas, como a Análise de Componentes Principais (ACP), ajudam a correlacionar essas medições instrumentais com as respostas sensoriais dos consumidores (Hinneh *et al.*, 2020; Guckenbiehl *et al.*, 2022; Bagnulo *et al.*, 2024).

Por meio de abordagens sensoriais e instrumentais combinadas, é possível ajustar processos como a torrefação e a conchagem para realçar os sabores desejados e minimizar os indesejados, criando um produto final que atende às expectativas sensoriais dos consumidores. Além disso, a ciência sensorial permite a

inovação em produtos de chocolate, como o desenvolvimento de novos sabores, texturas e combinações que podem englobar diferentes segmentos de mercado (Escobar *et al.*, 2021; Savitri *et al.*, 2022; Herrera-Rocha *et al.*, 2024).

Diante disso, a formação dos aromas e sabores do chocolate é um processo multifacetado que envolve reações bioquímicas complexas e técnicas de processamento aprimoradas. A ciência sensorial oferece as ferramentas necessárias para entender como essas características são percebidas e desejadas pelos consumidores, permitindo a criação de chocolates com perfis sensoriais inovadores (Harwood; Hayes, 2017; McClure; Hopfer; Grün, 2022; Bolini *et al.*, 2023).

A pesquisa com extratos de seis diferentes espécies vegetais, nativas e exóticas, como o açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate, é justificada pela importância nutricional, medicinal e econômica que essas plantas representam. Cada uma dessas espécies possui características bioquímicas distintas, com potenciais benefícios para a saúde humana, além de desempenharem papéis relevantes na gastronomia, cultura local e na globalização de alimentos funcionais.

O Açaí (*Euterpe oleraceae* Martius) é amplamente valorizado por seu conteúdo elevado de antocianinas, antioxidantes e lipídios. O consumo de açaí tem sido associado à melhoria da saúde cardiovascular e à atividade anti-inflamatória, sendo um recurso promissor para o desenvolvimento de produtos funcionais e nutracêuticos (Amorim *et al.*, 2023; Silveira *et al.*, 2023).

As espécies de Canela (*Cinnamomum* spp.) possuem propriedades antioxidantes, antimicrobianas e anti-inflamatórias, sendo uma especiaria amplamente utilizada tanto na alimentação quanto em aplicações medicinais. A pesquisa sobre diferentes espécies de canela (como *C. cassia* e *C. zeylanicum* Blume) é crucial para explorar suas diferenças em termos de segurança e eficácia, considerando seus compostos bioativos, como o cinamaldeído (Sharifi-Rad *et al.*, 2021; Mini Raj *et al.*, 2023).

O Guaraná (*Paullinia cupana* Kunth) é uma planta amazônica, rica em cafeína, taninos e catequinas, sendo frequentemente associada ao aumento da energia e desempenho cognitivo. Além disso, possui propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias que podem ser exploradas para aplicações em alimentos, saúde e nutrição (Cadoná *et al.*, 2017; Flores *et al.*, 2017).

O Hibisco (*Hibiscus sabdariffa* DC.) é conhecido por suas propriedades diuréticas e hipotensivas, sendo amplamente utilizado em infusões. Seus compostos bioativos, como ácidos orgânicos e polifenóis, têm mostrado potencial na regulação da pressão arterial e no controle do colesterol (Ojulari; Lee; Nam, 2019; Adewuyi *et al.*, 2021).

A planta Jambu (*Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen (sin. *Spilanthes acmella* var. *oleraceae* (L.) C. B. Clarke ex Hook. F., também conhecida como *Spilanthes oleracea* L.) é amplamente usada na culinária amazônica e tem grande potencial medicinal. Seus compostos, como o espilantol, possuem propriedades analgésicas e anti-inflamatórias. Estudos com a planta de jambu são importantes para a exploração de suas propriedades e aplicações tanto na indústria de alimentos, quanto na farmacêutica (Dallazen *et al.*, 2020; Pires; Da Silva, 2020).

A Erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma planta rica em compostos bioativos, como polifenóis, saponinas e cafeína, sendo consumida tradicionalmente como chimarrão ou tereré. Seu efeito antioxidante e energizante torna a erva-mate um foco relevante para pesquisas em alimentos, saúde e nutrição, além de suas implicações culturais e econômicas (Nodar; Gerhardt, 2021; Alves; Scheer, 2024).

As pesquisas com essas plantas nativas e exóticas abrem novas possibilidades no campo da biotecnologia, alimentos funcionais e fitoterapia, destacando seu potencial para a inovação em produtos que atendam a uma crescente demanda por alternativas saudáveis e sustentáveis (Coyago-Cruz *et al.*, 2023; Miranda *et al.*, 2024).

Diante disso, a alimentação e a nutrição são pilares essenciais para a manutenção da saúde, com um impacto direto no bem-estar físico e mental. O avanço das pesquisas científicas na compreensão das interações dos alimentos com o corpo humano, destacam-se o papel não apenas dos nutrientes básicos, mas também dos compostos bioativos, como os antioxidantes, presentes nos vegetais que se consomem e que têm potencial para prevenir doenças crônicas. Nesse contexto, a globalização e as mudanças nos padrões alimentares impulsionaram o interesse por alternativas mais saudáveis, como alimentos processados com ingredientes naturais e extratos vegetais funcionais (Mariutti *et al.*, 2021; Garnett *et al.*, 2023; Agyemang *et al.*, 2024; Hales *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2024).

O crescente interesse em alimentos à base de plantas, juntamente com o uso de tecnologias avançadas de processamento, como as aplicadas na produção de chocolate, reflete a busca por uma alimentação mais saudável, saborosa e sustentável. O processamento de chocolate e o uso de extratos vegetais, podem ser exemplos de como a ciência sensorial pode ser aplicada para compreender o perfil sensorial de produtos que não só agradam ao paladar, mas também promovem o bem-estar (Coyago-Cruz *et al.*, 2023; Miranda *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2024).

As espécies vegetais açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate, representam exemplos de como as matérias-primas de origem vegetal estão sendo aplicadas no desenvolvimento de novos produtos funcionais e nutracêuticos. Essas plantas, ricas em compostos bioativos, possuem potenciais benefícios para a saúde que vão além da nutrição básica, como propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e energizantes. O uso de extratos vegetais, por exemplo, já se destaca na indústria alimentícia como conservantes naturais e como fontes de ingredientes inovadores para dietas mais funcionais e sustentáveis (Cadoná *et al.*, 2017; Franzen *et al.*, 2018; Ojulari; Lee; Nam, 2019; Dallazen *et al.*, 2020; Nodar; Gerhardt, 2021; Sharifi-Rad *et al.*, 2021; Amorim *et al.*, 2023).

Assim, o estudo com plantas nativas e exóticas, alinhada ao desenvolvimento de alimentos funcionais e sustentáveis, mostra o quanto a nutrição moderna se beneficia do conhecimento tradicional e científico. A convergência entre saúde, sabor e sustentabilidade está se tornando central na indústria alimentícia, ao atender às demandas de consumidores mais conscientes e promover uma alimentação mais equilibrada e benéfica para a saúde global (Miranda *et al.*, 2024; Siddiqui *et al.*, 2024; Souza *et al.*, 2024).

OBJETIVO GERAL

Esta pesquisa teve como objetivo geral desenvolver chocolates amargos elaborados com adição de extratos de açaí, canela (*C. zeylanicum* Blume), guaraná, hibisco, jambu e erva-mate, analisar suas características físico-químicas, reológicas e criar o perfil sensorial destes produtos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o potencial antioxidante dos extratos em estudo por meio dos ensaios ABTS⁺, DPPH e FRAP.
- Determinar os teores de compostos fenólicos totais utilizando o método *Folin-Ciocalteu*.
- Realizar a caracterização físico-química dos extratos selecionados
- Desenvolver seis chocolates amargos incorporando extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate.
- Caracterizar os chocolates desenvolvidos por meio de análises físicas, químicas e reológicas.
- Avaliar o potencial antioxidante dos chocolates por meio dos ensaios ABTS⁺, DPPH e FRAP, além da determinação dos compostos bioativos.
- Verificar a conformidade microbiológica dos chocolates em relação à legislação brasileira, por meio da análise de *Salmonella* e *Enterobacteriaceae*.
- Avaliar o perfil sensorial descritivo dos chocolates desenvolvidos afim de entender quais atributos sensoriais são influenciados pela incorporação dos extratos vegetais e como esses atributos se manifestam na percepção dos avaliadores treinados.
- Realizar a análise do perfil sensorial dinâmico e afetivo, explorando a percepção e atitudes dos consumidores em relação ao produto.

CAPÍTULO 1 – Manuscrito de Revisão

Manuscrito de revisão bibliográfica com tema relacionado aos seis extratos vegetais que foram utilizados nesta pesquisa, intitulado *A review of six medicinal and aromatic plants and their health benefits*, aceito para publicação dia 23/10/2024, ao periódico científico Revista Fitos - Inovação em biodiversidade e saúde.

Uma revisão de seis plantas medicinais e aromáticas e seus benefícios para a saúde

A REVIEW OF SIX MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS AND THEIR HEALTH BENEFITS

Resumo

O Brasil apresenta uma grande biodiversidade de vegetais com propriedades nutritivas e biológicas importantes para a alimentação humana. O uso de plantas com compostos que participam de reações biológicas específicas, seja puro ou como extratos combinados com outras fontes de compostos bioativos proporcionam uma variedade de efeitos benéficos para a saúde. O objetivo deste estudo foi revisar a utilização de plantas na nutrição e a presença de compostos bioativos que trazem benefícios para a saúde, referenciando pesquisas com seis diferentes espécies vegetais nativas e exóticas (“açai”, “canela”, “guaraná”, “hibisco”, “jambu” e “erva-mate”). Numerosos estudos sobre os vegetais mencionados foram realizados para avaliar e confirmar os efeitos e benefícios. Estudos clínicos e metabólicos evidenciaram que o consumo dessas plantas, em especial seus extratos, podem prevenir ou tratar diversas doenças como Alzheimer, câncer, obesidade, diabetes, doença cardiovascular, aterosclerose, fibrose hepática e cardiovascular. Essas plantas possuem vários compostos que fornecem ações e atividades biológicas como antioxidante, afrodisíaca, antidepressiva, antienvelhecimento, anti-inflamatória, antimicrobiana entre outras. O uso de extratos dessas plantas em alimentos melhora algumas características de qualidade como estabilidade oxidativa, valor nutritivo, higiênico-sanitárias e sensoriais, além dos alimentos se tornarem funcionais com propriedades antioxidantes. Esta revisão indica que essas plantas têm potencial para serem utilizadas como ingredientes em formulações de diversos alimentos e devem

ser consideradas importantes para estudos futuros com a investigação dos seus efeitos sobre esses alimentos.

Abstract

Brazil has a large biodiversity of plants with nutritional and biological properties that are important for human nutrition. The use of plants with compounds that participate in specific biological reactions, whether pure or as extracts combined with other sources of bioactive compounds, provides a variety of beneficial effects for health. The objective of this study is to review the use of plants in nutrition and the presence of bioactive compounds that bring health benefits, referencing research with six different native and exotic plant species (“açai”, “cinnamon”, “guarana”, “hibiscus”, “jambu” and “yerba mate”). Numerous studies on the aforementioned plants have been carried out to evaluate and confirm their effects and benefits. Clinical and metabolic studies have shown that the consumption of these plants, especially their extracts, can prevent or treat several diseases such as Alzheimer's, cancer, obesity, diabetes, cardiovascular disease, atherosclerosis, hepatic and cardiovascular fibrosis. These plants have several compounds that provide biological actions and activities such as antioxidant, aphrodisiac, antidepressant, anti-aging, anti-inflammatory, antimicrobial, among others. The use of extracts from these plants in foods improves some quality characteristics such as oxidative stability, nutritional value, hygienic-sanitary and sensory properties, in addition to the foods becoming functional with antioxidant properties. This review indicates that these plants have the potential to be used as ingredients in formulations of various foods and should be considered important for future studies with the investigation of their effects on these foods.

Palavras-chave: *Euterpe oleraceae* Martius.. *Cinnamomum zeylanicum* Blume. *Paullinia cupana* Kunth. *Hibiscus sabdariffa* DC.. *Spilanthes oleraceae* L.. *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil..

Keywords: *Euterpe oleraceae* Martius.. *Cinnamomum zeylanicum* Blume. *Paullinia cupana* Kunth. *Hibiscus sabdariffa* DC.. *Spilanthes oleraceae* L.. *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil..

Introduction

Plants have been an integral part of our culture since antiquity and are cited in literature as wonders of nature. They have nutritional and biological properties and have been used in food preparation by different cultures for centuries. These edible, medicinal and aromatic plants are part of various cuisines in Asia, Europe and in the Middle East. Plants are important sources of nutritional and bioactive compounds, such as a high amount of antioxidants [1,2,3].

A variety of pharmacological effects are obtained with the use of plants with bioactive properties, either as pure compounds or as standardized extracts, combined with other sources of bioactive compounds, which are far from being exhausted [4,5].

There are several plant species that have been shown to be important sources of bioactive substances, and therefore studies to assess their potential against chronic diseases have been conducted in various parts of the world [6,7,8].

It is known that the valuation of a natural plant extract can be based on the concentration of the target compounds and their bioactivity, in addition to providing health benefits [9,10,11].

Many chemical constituents found in plants, commonly called phytochemicals, such as polyphenols, terpenes and carotenoids, have been described as potential antioxidants, prevention and reduction of diseases [12,13,14].

Consumers are increasingly interested in foods that can reduce the risk of disease, thus benefiting their health and well-being. By using plants with bioactive properties, either as pure compounds or as standardized extracts, combined with other sources of bioactive compounds, a variety of beneficial effects on health and nutrition are obtained, which should be increasingly studied. [1,2,3]

This review of these six different plant species is justified by the nutritional, medicinal and economic importance that these plants represent in several areas of knowledge. Each of these species has distinct biochemical characteristics, with potential benefits for human health, in addition to playing important roles in gastronomy, local culture where they are inserted and the globalization of functional foods.

Research into these native and exotic plants opens up new possibilities in the field of biotechnology, functional foods and phytotherapy, highlighting their

potential for innovation in products that meet a growing demand for healthy and sustainable alternatives.

In this review study, we will discuss the importance of plants with bioactive compounds that bring health benefits, referencing research with 6 different plant species (“açaí”, “cinnamon”, “guarana”, “hibiscus”, “jambu” and “yerba mate”) which prove the benefits of these plants when consumed *in natura* or in the form of extracts.

Search methodology

The objective of this study was to carry out bibliographic surveys related to the use of six aromatic and medicinal plants, as treatment or health prevention, in addition to the presence of bioactive compounds and what has been studied in the last 20 years.

This survey was done through electronic scientific databases, including Science Direct, Scopus and others. The scientific names of the relevant species mentioned in this article were used as keywords for the searches: *Euterpe oleraceae* Martius., *Cinnamomum zeylanicum* Blume, *Paullinia cupana* Kunth, *Hibiscus sabdariffa* DC., *Spilanthes oleraceae* L. and *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

Articles in English, Spanish and Portuguese from 2003 onwards were selected according to their importance for this review study. For this research, 128 scientific articles were selected that presented results on consumption habits, populations that use them, benefits and socio-environmental impacts of the plant species mentioned. In addition, traditional use in food, the part(s) of the plant used, the preparation method(s) and the form of administration *in vivo* and *in vitro* were also taken into consideration for this review.

Data analysis and context

Açaí – *Euterpe oleraceae* Martius.

Açaí (*Euterpe oleracea* Martius.) is known as a “superfood” due to its high concentrations of nutrients and other health-benefiting properties ^[15]. Superfoods are classified as foods rich in bioactive phytochemicals. These compounds occur naturally in plants and provide color, flavor, and odor to foods ^[16].

Açaí, a fruit native to Brazil, has high concentrations of bioactive compounds and is consumed in different regions of the country ^[17,18]. Its production increased by

more than 55% from 2018 to 2022, and exceeded 1.690.000 tons in 2022, being exported to the world by Brazil [^{19,20}].

Açaí pulp is mainly consumed by the Brazilian population in the North and Northeast regions of the country. However, there has been an increase in demand for açaí pulp in recent years in national and international markets, and the fruit has aroused the interest of investors and researchers. This is mainly due to the high antioxidant capacity of açaí provided by its high anthocyanin and tocopherol contents [^{21,22,23}].

To make açaí more accessible to consumers around the world, açaí berries are processed soon after harvest. They are frozen, freeze-dried, or turned into pulp or powder to preserve their nutritional value and extend their shelf life. Frozen açaí pulp is a common form of açaí that retains most of its nutritional benefits. Frozen açaí is a convenient option for consuming this fruit outside of the Amazon rainforest [²⁴].

Polyphenols are the predominant chemical constituents of açaí, notably anthocyanins and flavonoids, which justify its classification as a functional food which helps in preventing several degenerative diseases [^{9,25,26}].

Açaí berries are rich in anthocyanins, a flavonoid that gives the fruit its dark purple color. These compounds have antioxidant properties that help neutralize free radicals and reactive species, strengthening the body's defense system and promoting health. Free radicals are naturally formed in the body, but when produced in excess, they can attack cell membranes and nuclei, leading to oxidative damage to lipids, proteins, and nucleic acids. Antioxidants are crucial to controlling this process, since excessive free radicals and reactive species have been linked to several health problems [^{27,28}].

Studies have shown that the consumption of foods rich in polyphenols, especially those of the flavonoid class, has been associated with a low risk of developing several diseases due to the antioxidant properties present in the food. Açaí is one of the fruits that has been gaining prominence, as it has significant amounts of a group of flavonoids. The main anthocyanins found in açaí are cyanidin-3-glycoside and cyanidin-3-rutinoside [^{21,23,29}].

Although data on the antioxidant potential of açaí species are conflicting, some studies in the literature report that anthocyanins are the compounds which most contribute to the antioxidant power of açaí, being present in higher concentrations than

those found in several fruits, such as blueberries, cranberries, plums and raspberries. Some studies consider that açai has a lower concentration of total phenolics (13.9 mg/g GAE) than other dark fruits [22,30,31].

The way you consume açai has a direct impact on its health benefits. Consuming this fruit in its pure form preserves and enhances its positive effects. For those looking to maximize the benefits of açai, it is recommended to opt for the most natural way of consuming it possible [24,27,28].

Cinnamon – *Cinnamomum zeylanicum* Blume

In Brazil, the two main varieties of cinnamon sold are Chinese Cinnamon (*Cinnamomum cassia* (L.) J.Presl) and Ceylon Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume), also known as true cinnamon. Of these, *C. cassia* is the most widely found and consumed, mainly due to its lower production cost and greater availability. However, there are significant differences between these two varieties, both in terms of chemical composition and health effects [32].

Chinese cinnamon (*C. cassia*) is known to contain relatively high levels of coumarin, a compound that, in large quantities, can be toxic to the liver and cause liver damage. In addition, coumarin has anticoagulant properties. Regarding the flavor of this species, it is more pungent and stronger, and the aroma is more intense compared to the species *C. zeylanicum* [32,33,34].

The species *C. cassia* can help regulate blood sugar, and is traditionally used to control glucose levels in people with type 2 diabetes, in addition to having anti-inflammatory and antioxidant properties [34,35].

Due to the high coumarin content, excessive consumption of *C. cassia* can lead to liver damage, especially in sensitive people or children. In addition, people taking anticoagulant medications should avoid large amounts of this species, as it contains coumarin, which has anticoagulant properties [32,33].

Ceylon cinnamon (*C. zeylanicum*) contains less coumarin than *C. cassia*, making it a safer option for regular consumption. This species is rich in antioxidants, especially phenolic compounds such as cinnamic acid and cinnamaldehyde, which provide anti-inflammatory and antimicrobial properties. *C. zeylanicum* has a milder, sweeter flavor with a delicate aroma, and is considered to be of superior quality in gastronomy [33,36].

Like *C. cassia*, *C. zeylanicum* can also help regulate blood sugar, but with a lower risk of adverse effects. Its antioxidant properties help fight free radicals, contributing to the prevention of chronic diseases [32,33,35].

There has been an increase in studies of the therapeutic properties of plants that may present an alternative therapeutic resource in recent years. One of these plants researched over time due to its significant biological properties is *Cinnamomum zeylanicum* Blume, commonly known as cinnamon. Various parts of the plant such as its bark, leaves, flowers, fruits and roots have medicinal and culinary applications. The chemical composition of materials obtained from different parts of a *C. zeylanicum* plant show considerable variation, resulting in different pharmacological effects. Cinnamon has great economic value and is widely used in various areas such as the pharmaceutical, food, cosmetics and beverage industries [32,33,34].

C. zeylanicum is known as “cinnamon”, “India cinnamon”, “Ceylon cinnamon”, being generally called “true cinnamon”, and it is a plant native to some regions of India and Sri Lanka. The parts (bark, leaves, flowers and others) of cinnamon are bioactive compound sources which have antimicrobial, antioxidant, insecticidal activity, and are also used as flavoring agents in foods [35,36,37].

The biological activity of cinnamon regarding its analgesic, antiseptic, anticancer, antispasmodic, coagulant, neuroprotective, hepatoprotective, gastroprotective, cardioprotective and antimicrobial potential, as well as its action in reducing and controlling the serum levels of fats in the blood have already been reported in literature. Several studies have shown additional evidence of the antimicrobial potential of this plant against gram-positive and gram-negative fungi and bacteria [32,38,39].

Cinnamon has several medicinal and pharmacological properties that are effective in controlling human diseases like diabetes, Alzheimer’s disease, cancer, arthritis, heart disease, indigestion, and tooth decay, etc [40].

Alzheimer's disease is a progressive neurodegenerative condition that leads to death, characterized by memory loss, severe behavioral abnormalities, and cognitive impairments. Although there is no cure, it is possible to slow the progression of the disease through different therapeutic approaches. Inhibiting cholinesterases, such as acetylcholinesterase and butyrylcholinesterase, is one such strategy, helping to preserve cognitive function. Another approach is inhibiting the aggregation of beta-

amyloid peptides, whose accumulation in the brain contributes to neurodegeneration and dementia. In addition, monoamine oxidase inhibitors can alleviate symptoms associated with the disease, such as depression and psychosis. Phytochemicals present in plants such as cinnamon have shown potential to inhibit these enzymes and processes, offering a possible route to the development of treatments that slow the progression of Alzheimer's [33].

Traditional uses of the species for medicinal purposes include the treatment of vaginitis, inflammation, neuralgia, wounds, diabetes, leucorrhoea and rheumatism. Cinnamon bark is one of the oldest herbal medicines cited in articles as an anti-inflammatory to fight pain, enteralgias, bronchitis and rheumatism. The chemical composition of cinnamon comprises type A procyanidins, dimeric, trimeric and oligomeric proanthocyanidins, camphene, sabinene, myrcene, fenchone, nerol, bornyl and cinnamyl acetates, geranial, cinnamaldehyde and eugenol. Biological activities which have already been reported for the species include analgesic, antipyretic, antifungal, anti-inflammatory, antimicrobial, antidiabetic and antioxidant effects [34,37].

Guarana – *Paullinia cupana* Kunth

Guarana (*Paullinia cupana* Kunth, Sapindaceae) is a species native to Brazil of great economic and social importance. It is an evergreen shrub native to the Amazon region, which was domesticated in the Amazon due to its caffeine-rich seeds. Brazil is the only guarana producer in the world, meeting both national and international demand. Guarana seeds have been roasted and used for hundreds of years by indigenous tribes for their stimulant, aphrodisiac and healing properties [5,7,41].

In 2022, guarana production in Brazil was 2.460 tons. In the same year, the production value was R\$ 45.779.00. Its average production yield per hectare, in the same year, was 237 kg, with the state of Bahia being the largest producer of guarana in Brazil [20].

The fruit is a dehiscent capsule and a dark brown seed partially encased in an aril is visible when it opens. Its ripe fruit color can vary from yellow-orange, yellowish-red to vibrant bright red [42].

Guarana seeds have several pharmacological functions, such as antimicrobial, antioxidant, anticancer, stimulant and cognitive functions, in addition to

liver protection and weight loss. Many of these actions are likely due to the high methylxanthine and tannin contents in its seeds [43,44,45].

Due to the high potential of guarana, in addition to its medicinal characteristics and profitability, it has become an important raw material for the cosmetics and soft drinks industries. Approximately 70% of production is used in producing soft drinks and energy drinks [10].

The guarana plant is associated with a wide variety of pharmacological actions, including anticarcinogenic, antiproliferative, antimicrobial, antioxidant, energetic cytoprotective, thermogenic, antidepressant, and anxiolytic activities, as well as reducing oxidative effects and metabolic disorders [43,44,45].

Guarana seeds are used by dissolving the ground roasted seed powder in water, without or in combination with other herbal medicines. Nowadays, guarana is commercially exploited by the beverage, cosmetic and pharmaceutical industries [5].

Although there is a lot of interest in studying the caffeine in guarana, including its benefits and consequences, the most diverse pharmacological effects of guarana are associated with the tannins present in the plant's seeds, which represent about 16% of the seed composition [5,46].

Guarana is widely used in the food industry in the form of syrups, extracts and distillates, mainly as a flavoring agent and as a source of caffeine by industries. The greatest economic value of guarana is currently in manufacturing beverages. The American Beverage Company (Ambev) alone uses 70% of all guarana seeds produced annually. The remainder of the production (30%) is destined for the pharmaceutical industry and export, mainly to Japan and the United States [5,10].

The seeds are the commercially useful part of the plant due to the large amounts of caffeine, theobromine and theophylline, in addition to the high concentration of tannins and other compounds such as saponins, polysaccharides, proteins and fatty acids [47,48].

Hibiscus – *Hibiscus sabdariffa* DC.

The Hibiscus genus (*Hibiscus sabdariffa* L.) stands out among plant diversity. Hibiscus (*H. sabdariffa* L.) belongs to the Malvaceae family, and is an important medicinal plant originally from India, Sudan and Malaysia, being later introduced in Africa, Southeast Asia and Central America. It is a shrub that is around

3 m tall, cultivated due to the interest in its leaves, calyces and seeds, which are used to prepare drinks with culinary and medicinal purposes [2,49].

The fleshy calyces (sepals), thick red cup-shaped, are commercially important for producing beverages, juices, jellies and syrups in the food industry. In addition, these calyces are a good source of natural food coloring due to their high pigment content. Despite its wide consumption as a beverage and use in the food industry, hibiscus is also used in nutraceuticals, cosmetics and pharmaceuticals [50,51].

Hibiscus is considered a plant with diuretic properties for gastrointestinal treatment, liver infections, fever and hypertension in traditional medicine. Hibiscus is a functional food in Asian countries and the economic interest is in dehydrated calyces used worldwide in the production of teas, foods, preservatives and antioxidants [12,52,53].

It has traditionally been used effectively against hypertension, inflammation and liver disorders. Studies have shown that *H. sabdariffa* has multi-effects with antitumor, antioxidant and anti-hyperlipidemia activities. In addition, hibiscus extract has been reported to inhibit LDL (low density lipoprotein) oxidation and lower serum triacylglycerides and cholesterol. The extract from this plant can also reduce the formation of foam cells and inhibit the proliferation and migration of vascular smooth muscle cells, suggesting an anti-atherosclerotic effect of hibiscus [54,55,56].

H. sabdariffa is a rich source of flavonoids and its anticancer potential has attracted the interest of researchers. Kaulika, Febriansah^[57] reported the cytotoxic potential of hibiscus in T47D breast cancer cells. Hibiscus petals contain flavonoids which may have antioxidant functions that play an important role in the pathophysiology of cancer. The authors concluded that hibiscus has potential as a chemopreventive agent based on its molecular fit and cytotoxic activity against T47D breast cancer cells.

Hibiscus flowers have a high anti-inflammatory effect. This effect was confirmed using extracts from its flowers using a cellular modeling system. The polyphenol content in hibiscus works as an anti-inflammatory agent, improving antioxidant conditions and regulating the expression of cyclooxygenase-2. This also increases anti-inflammatory cytokine expression (IL-10) and therefore decreases pro-inflammatory cytokine expression (IL-6 and TNF- α) [58].

According to Ojulari *et al.* [59], the bioactive compounds derived from *H. sabdariffa* are effective against obesity, with a relevant decline in body weight,

suppression of adipogenesis and inhibition of lipid accumulation. Hibiscus extract inhibited α -amylase activity, which therefore blocked sugar and starch absorption, which may aid in weight loss.

Sepal decoctions and infusions, and occasionally hibiscus leaves, are used in at least 10 countries in treating hypertension and hyperlipidemia with no reported adverse events or side effects [60].

Jambu – *Spilanthes oleraceae* L.

Acmella oleracea (L.) R. K. Jansen (sin. *Spilanthes acmella* var. *oleraceae* (L.) C. B. Clarke ex Hook. F.), also known as *Spilanthes oleracea* L., is part of the Asteraceae family, first discovered in Peru. It is currently found in tropical and subtropical regions of the world, especially in northern Brazil, where it is known as jambu [6,61,62].

It is an important medicinal plant traditionally used for its analgesic and anti-inflammatory properties, but also for being antipyretic, anticonvulsant, antidiarrheal, antidiuretic, antiseptic, antifungal, antiprotozoal, an insecticide, in addition to being used for culinary purposes [13,62,63].

These properties are due to its endogenous content of bioactive compounds, such as sterols, coumarins, flavonoids, saponins, terpenoids, polysaccharides and especially alkylamides [13].

Among the alkylamides, spilanthol ((E, E, Z)-2,6,8-decatrienoic acid N-isobutylamide) is considered the most potent bioactive compound found in jambu. This compound is mainly found in its flowers, leaves, stems, and roots [13,63,64].

Many studies have been conducted with this species to produce and extract spilanthol due to its pharmacological and medicinal importance based on typical effects of alkylamides, such as analgesic, neuroprotective, antioxidant, antimutagenic, anticancer, anti-inflammatory, antimicrobial, antilarvicidal and insecticidal activities [65,66].

Yerba Mate – *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil., Aquifoliaceae) is a plant widely consumed in South America, especially in Brazil, Argentina, Paraguay and Uruguay. Its use extends across several local cultures, each with its own traditions and

preparation methods, resulting in different forms of consumption that, in turn, can influence the availability of the plant's bioactive compounds [67,68].

Mate (maté in Spanish) is an infusion made from the yerba mate plant (*I. paraguariensis*), which has been culturally consumed daily as a beverage in the regions of origin, with some reports estimating consumption of more than 1 L day⁻¹. For this reason, many studies, including human trials, are based on this traditional volume of consumption [14,69,70].

Yerba mate production in Brazil reached 618.601 tons in 2022, with a production value of R\$ 846.541,00. The average production yield per hectare in the same year was 8.421 kg, with the state of Paraná being the largest producer of yerba mate in Brazil [20].

In southern Brazil, yerba mate is traditionally consumed in the form of chimarrão. This drink is prepared by adding hot (not boiling) water to ground yerba mate. Chimarrão is more than just a drink; it is a symbol of hospitality and friendship. Sharing chimarrão in conversation circles is a common practice, representing a moment of social interaction [71,72,73].

In regions such as Mato Grosso do Sul and some parts of São Paulo, yerba mate is consumed as tereré, a cold drink. In this form of consumption, yerba mate is prepared in the same way as chimarrão, but the water used is cold and sometimes the water is flavored with fruit juices or herbs. Tereré is associated with a warmer climate and is popular among rural workers and young people. Like chimarrão, tereré also has a strong social component, being shared in groups as a sign of friendship and hospitality [68,72,74].

Like green tea and coffee, yerba mate is rich in bioactive compounds, including polyphenols (such as chlorogenic acid), xanthines (caffeine, theobromine) and saponins. These compounds have antioxidant, stimulant and anti-inflammatory properties, contributing to the health benefits associated with yerba mate consumption [14,72,73,74].

According to Bracesco *et al.* [71], the well-known traditional preparations of aqueous mate infusions are drinks of four main types:

- *Chimarrão*: Extract in hot water of dried and crushed green mate leaves;

- Cooked maté: Green mate made as herbal tea, a common commercial product;
- Tererê: Extract in cold water of dried and crushed green mate leaves;
- Mate tea: Leaves dried (roasted) and prepared as herbal tea.

Like green tea and coffee, mate has alkaloids, methylxanthine, caffeine and theobromine, and its consumption is traditionally due to its stimulant properties ^[14,71].

In addition to the main yerba mate consumption types mentioned above, the leaves have other diverse industrial applications, such as soluble extracts for beverages, dye, food preservatives and raw material for hygiene and cosmetic products ^[69,70].

Several works emphasize the complexity of the chemical composition of yerba mate. There are 2 compounds with the highest concentration among the main active compounds found in the leaves and branches of the plant, they are polyphenols (chlorogenic acid) and xanthines (caffeine, theobromine and theophylline). In addition to these compounds, there are also puric alkaloids (caffeic acid, 3,4-dicaffeoylquinic acid, 3,5-dicaffeoylquinic acid), flavonoids (quercetin, kaempferol and rutin), amino acids, minerals (P, Fe and Ca), vitamins (A, B1, B2, C and E), as well as cellulose, dextrin, saccharin and gums ^[70,75,76,77].

The infusion of yerba mate with hot water tends to extract bioactive compounds more efficiently, especially polyphenols and xanthines. The high temperature facilitates the release of these compounds, making chimarrão a drink rich in antioxidants and caffeine. Due to the greater extraction of caffeine, chimarrão has a more stimulating effect ^[71,72,73,74].

In tererê, the extraction of bioactive compounds is less efficient due to the cold temperature of the water used. This can result in a lower concentration of antioxidants and caffeine in the drink. However, this form of consumption still retains a significant amount of the compounds, providing health benefits. Tererê tends to be more refreshing and less stimulating compared to chimarrão, due to the lower amount of caffeine extracted ^[68,72,73,74].

Analyzes of the compounds present in *I. paraguariensis* confer several properties of therapeutic value and make it recommendable as a hypocholesterolemic, hepatoprotective, antioxidant, diuretic, digestive, nervous system stimulant, anti-

inflammatory, antirheumatic and lipolytic agent, in addition to being indicated in asthenia cases and being an adjunct for treating overweight ^[75,76,77].

Numerous studies on these plants have been conducted to evaluate and confirm the effects and benefits cited in this study. Some of the main health benefits from the consumption of these plants are described in Table 1.

Tabela 1 - (Table 1 do artigo) Evidence of the effectiveness of *Euterpe oleraceae* Martius., *Cinnamomum zeylanicum* Blume, *Paullinia cupana* Kunth, *Hibiscus sabdariffa* DC., *Spilanthes oleraceae* L. and *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. plants for health benefits.

Species	Parts of the plant used	Proven health benefits	Publication
<i>Euterpe oleraceae</i> Martius. (Açaí)	Fruit (pulp) and seed extract	Antioxidant capacity;	[9,23,25,26]
		Presence of anthocyanins.	
		Vasodilator;	[78,79]
		Prevents cardiovascular disease;	
		Atherosclerosis.	[80]
		Prevents obesity;	
		Steatosis and liver fibrosis.	[81]
		Antimicrobial properties (<i>Staphylococcus aureus</i>);	
		Cytotoxicity against hepatocellular carcinoma cells (HepG2).	[30,31]
		Antioxidant, anti-inflammatory (NLRP3 inflammasome);	
		Cytotoxic agent against cervical carcinoma.	[22]
		Increased gene expression of antioxidant enzymes and lipid metabolism.	
		Activity against seizures and seizure-related oxidative stress.	[82]
		Identification of compounds such as lipids, prenol, isoflavonoids and isoquinolines related to superfoods.	
			[83]
	Leaves and bark	Antimicrobial activity;	[34,38]

<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume (Cinnamon)		Anticancer properties. Antioxidant activity; Anti-inflammatory activity; Antimicrobial activity. Phenolic compounds; Alzheimer's disease remediation; Antidiabetic action. Cardioprotective activity; Antioxidant capacity. Inhibition of aflatoxin B1; Antifungal action against <i>Aspergillus flavus</i> ; Antioxidant capacity. Improved oxidative stability; Hygienic characteristics of meat.	[32,35,36,37] [33,39,40] [11] [84] [85]
<i>Paullinia cupana</i> Kunth (Guarana)	Fruit and seeds (extract)	Phenolic compounds; Antimicrobial activity. Anxiety control; Panic disorders; Antidepressant agent; Improves cognitive and physical abilities. Anti-inflammatory effects; Antitumor effects; Antioxidant effects; Antimicrobial effects. Adjuvant in lowering cholesterol and protecting the liver. Neuroprotective activity.	[10,41,86] [48,87,88] [7,44,46,47,89,90] [45,91] [42,43]
<i>Hibiscus sabdariffa</i> DC.		Antioxidant activity;	[53,58,92,93,94]

		Source of natural pigments (total anthocyanins, cyanidin and delphinidin). Antimicrobial activity against <i>Escherichia coli</i>, <i>Salmonella enteritidis</i>, <i>Staphylococcus aureus</i> and <i>Micrococcus luteus</i> [50,85] Promotes hypoglycemic and hypolipidemic activities; [12,52,96] Prevents liver damage in diabetic condition. Reduction in body weight, total body fat, liver fat; [55,56,59] Increase in HDL-C and decrease in alanine aminotransferase. Inhibition of human colon cancer cells and antioxidant action. [51] Functional foods with antioxidant properties. [2,60,97]	
<i>Spilanthes acmella</i> (L.) Murr. (jambu)	Leaves and inflorescences	Antifungal activity; High content of vitamin C, phenolic compounds and flavonoids; [6,61,64] Antioxidant activity. Anti-inflammatory activity; Analgesic activity; Antipyretic activity; Local anesthetic activity; [13,98,99,100,101] Inhibitory effect on nitric oxide production; Presence of phenolic compounds and tannins.	

		Diuretic activity; Anti-obesity (slimming). Aphrodisiac action.	[102,103] [104]
		Antioxidant activity; Compound of caffeine, rutin and quercetin. Decreased levels of glucose and glycosylated proteins; Reduced lipid peroxidation in liver, kidney and brain tissues; Increase in antioxidant enzymes, reduction in non-protein thiols generated by diabetes; Reduction of peripheral neuropathy.	[8,75,76,77,105,106,107] [14,108,109,110,111,112,113]
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.- Hil. (Yerba mate)	Leaves (extract)	Anti-inflammatory; Anti-cancer; Chemoprevention. Cardioprotective. Anti-aging; Improve bone health. Application to traumatic brain injury. It improves the oxidative stability; Nutritional value and sensory quality in beef.	[114,115,116] [117,118] [119,120] [121] [122]

Source: elaborated by the authors.

Traditional use of species

Açaí has been traditionally used and consumed for centuries by riverside and indigenous communities in the Amazon. Since the 2000s, açaí has become popular in international markets due to its high content of anthocyanins, which provide antioxidant properties. In countries such as the US and Brazil, it is widely consumed in the form of smoothies, ice cream, supplements and beauty products [16,19].

The use of yerba mate is traditional in South American countries, and the Guarani indigenous peoples are the main disseminators of its consumption. Chimarrão (hot infusion) and tereré (cold) are an integral part of the local culture and each country has its own variations in consumption. In Brazil and Argentina, chimarrão is predominant, while in Paraguay, tereré is more common [68].

The indigenous peoples of the Amazon, especially the Sateré-Mawé, were the first to cultivate and use guarana, which is known for its stimulating effect due to its high caffeine content. It was also used as an aphrodisiac and to combat fatigue. Guarana was incorporated into the energy drink and soft drink industry in Brazil and globally [5,7,41].

Jambu is widely used in Amazonian cuisine, such as in the traditional dish "tacacá", "pato no tucupí" and "arroz com jambu". Hibiscus, originally from África, is consumed in medicinal teas and in Brazilian northeastern cuisine, in typical dishes of Maranhão cuisine such as "cuxá" and "arroz de cuxá". Cinnamon has been used for centuries in Ásia and África as a spice and medicine [49,123,124,125].

Form of exploitation of species

Açaí is largely harvested through sustainable extraction, but there is a growth in monoculture cultivation, especially for export. Some traditional management practices help to preserve the ecosystem, such as the use of agroforestry and consortia [126].

Yerba mate is grown in agroforestry systems and in commercial monocultures. There is a growing demand for organic yerba mate, which promotes sustainable practices. Although guarana is grown in monocultures, there are also initiatives for organic cultivation and sustainable management, especially by traditional communities. Jambu and cinnamon are grown in traditional systems and on small farms, and hibiscus is widely cultivated in África and Southeast Ásia, on a commercial and domestic scale [67,123,125,127].

Socio-environmental impacts of species

The expansion of açaí cultivation has contributed to deforestation in some areas of the Amazon. However, sustainable management in floodplain areas helps maintain biodiversity. The export of açaí has brought significant economic benefits to some communities. Local cooperatives that control the production chain are positive examples ^[126].

Yerba mate monoculture can result in biodiversity loss. On the other hand, sustainable cultivation in agroforestry systems maintains ecological diversity. Communities that cultivate guarana and yerba mate in family systems tend to receive greater economic returns and maintain traditional practices. The demand for organic and sustainable products has increased these benefits. Overexploitation of jambu and cinnamon can lead to the degradation of forest areas if not managed sustainably. Hibiscus has been promoted in regenerative agriculture systems ^[67,123,125,127].

Aromatic and medicinal plants are gaining more and more interest as a source of natural bioactive compounds with potential for use not only in the pharmaceutical and cosmetic industry, but also in the food industry. The essential oils industry is mainly focused on aromatic and medicinal plant extracts, using different conventional and/or innovative techniques with different impacts on the yield, composition and quality of the final product ^[128].

Medicinal plants are important protective foods, rich in nutrients, vitamins and dietary fiber. They are also the source of several natural bioactive/pharmaceutical compounds that provide various health benefits such as antioxidant, anti-cancer, anti-hypertensive and anti-diabetic properties. Many of these bioactive compounds present in vegetables are terpenoids, carotenoids, phenolics, phytosterols, glucosinolates and others ^[129].

Conclusions

The six plant species analyzed, açaí, cinnamon, guarana, hibiscus, jambu and yerba mate, demonstrate enormous potential in food, whether as natural products or as ingredients in food formulations. These plants have unique profiles of bioactive compounds, such as polyphenols, flavonoids and caffeine, which provide a range of

benefits to human health, including antioxidant, anti-inflammatory and neuroprotective properties.

The integration of these species into functional foods is highly promising, as they not only contribute to the nutritional value of foods, but also improve their sensory characteristics, such as color, aroma and flavor. The use of their extracts or parts, such as fruits, seeds and leaves, has the potential to prevent and treat chronic diseases, such as cardiovascular disease, diabetes and obesity, in addition to promoting general well-being.

The versatility of these plants in different food and industrial applications reinforces their relevance for future research, aiming at the innovation of products that meet the growing demands of consumers for healthier and more functional foods.

Furthermore, the present review can help to guide researchers in choosing plants for future scientific studies based on the data presented. This can generate important information as the basis for possible benefits for the population and thus allow obtaining new consumption alternatives to prevent various diseases.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgments

We thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES; Social Demand Program of Scholarships) for financial support- Financing code 001.

Contribuição dos autores:

Concepção do estudo: DS, CT.

Curadoria dos dados: DS, CT.

Coleta de dados: DS.

Análise dos dados: DS.

Redação do manuscrito original: DS, CT.

Redação da revisão e edição: DS, CT.

References

1. Grzeszczuk M, Stefaniak A, Meller E, Wysocka G. Mineral composition of some edible flowers. **J of Elementology**. 2018; 23(1): 151-162. DOI: [10.5601/jelem.2017.22.2.1352](https://doi.org/10.5601/jelem.2017.22.2.1352)
2. Franzen FL, Oliveira MSR, Menegaes JF, Gusso AP, Silva MN, Richards NSPS. Physico-chemical, microbiological and sensory characteristics of jellies made with rose and hibiscus flowers. **Braz. J. Dev.** 2020; 6 (3): 14828-14845. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-377>
3. Franzen FL, Menegaes JF, Rosa JR, Pigatto GM, Lidório HF, Backes FAAL, Oliveira MSR. Antioxidant and antimicrobial activity of edible flower extracts obtained by different extraction methods. **Ensaios Ciênc.** 2021; 25 (4): 513-520. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n4p513-520>
4. Stefaniak A, Grzeszczuk ME. Nutritional and biological value of five edible flower species. **Not Bot Horti Agrobo.** 2019; 47 (1): 128-134. DOI: <https://doi.org/10.15835/nbha47111136>
5. Marques LLM, Ferreira EDF, Paula MND, Klein T, Mello JCPD. *Paullinia cupana*: a multipurpose plant-a review. **Rev Bras Farmacogn.** 2019; 29: 77-110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.08.007>
6. Pires IV, Silva AE. Caracterização e capacidade antioxidante do jambu (*Spilanthes oleracea* L.) in natura procedente do cultivo convencional e de hidroponia. **Braz. J. Dev.** 2020; 6 (10): 74624-74636. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-040>
7. Machado KN, Barbosa AP, De Freitas AA, Alvarenga LF, De Padua RM, Faraco AAG, Castilho RO et al. TNF- α inhibition, antioxidant effects and chemical analysis of extracts and fraction from Brazilian guaraná seed powder. **Food Chem.** 2021; 355: 129563. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129563>
8. Bruxel F, Rodrigues KF, Gastmann J, Winhelmann MC, Silva SM, Hoehne L, De Freitas EM et al. Phytotoxicity of aqueous extract of *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil on *Conyza bonariensis* (L). Cronquist. **S. Afr. J. Bot.** 2022; 146: 546-552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.019>
9. Silva HRD, Assis DDCD, Prada AL, Silva JOC, Sousa MBD, Ferreira AM, Carvalho JCT et al. Obtaining and characterization of anthocyanins from *Euterpe oleracea* (açai) dry extract for nutraceutical and food preparations. **Rev Bras Farmacogn.** 2019; 29: 677-685. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2019.03.004>
10. Aguiar BAA, Bueno FG, Panizzon G, Silva DBD, Athaydes BR, Gonçalves RDCR, Mello JCPD et al. Chemical analysis of the semipurified extract of *Paullinia cupana* and evaluation of in vitro inhibitory effects against *Helicobacter pylori*. **Nat. Prod. Res.** 2020; 34 (16): 2332-2335. DOI: <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1533825>
11. Sandamali JAN, Hewawasam RP, Jayatilaka KAPW, Mudduwa LKB. *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Ceylon cinnamon) bark extract attenuates doxorubicin induced cardiotoxicity in Wistar rats. **Saudi Pharm J.** 2021; 29 (8): 820-832. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsps.2021.06.004>
12. Husin NNA, Balkis BS, Abd Hamid Z, Abd Rahman M, Louis SR, Osman M, Mohamed J et al. Aqueous calyxes extract of Roselle or *Hibiscus sabdariffa* Linn supplementation improves liver morphology in streptozotocin induced diabetic rats. **Arab J Gastroenterol.** 2017; 18: 13-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajg.2017.02.001>
13. Dallazen JL, Maria-Ferreira D, Luz BB, Nascimento AM, Cipriani TR, Souza LM, Felipe LPG, Silva BJG, Nassini R, Paula Werner MF. Pharmacological potential of alkylamides from *Acmella oleracea* flowers and synthetic isobutylalkyl amide to

- treat inflammatory pain. **Inflammopharmacology**. 2020; 28: 175–186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10787-019-00601-9>
14. Habtemariam S. The chemical and pharmacological basis of yerba maté (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) as potential therapy for type 2 diabetes and metabolic syndrome. Medicinal foods as potential therapies for type-2 diabetes and associated diseases. Academic Press. New York: NY; USA; 2019. p. 943-983.
 15. Lucas BF, Costa JAV, Brunner TA. Attitudes of consumers toward Spirulina and açai and their use as a food ingredient. **LWT**. 2023; 178: 114600. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114600>
 16. Silveira JT, Rosa APC, Morais MG, Victoria FN, Costa JAV. An integrative review of Açai (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**. 2023; 113304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>
 17. Lucas BF, Zambiasi RC, Costa JAV. Biocompounds and physical properties of açai pulp dried by different methods. **LWT**. 2018; 98: 335-340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.058>
 18. Lucas BF, Guelpa R, Vaihinger M, Brunner T, Costa JAV, Denkel C. Extruded snacks enriched with açai berry: physicochemical properties and bioactive constituents. **Food Science and Technology**. 2022; 42: e14822. DOI: <https://doi.org/10.1590/fst.14822>
 19. Yamaguchi KKL, Pereira LFR, Lamarão CV, Lima ES, Veiga-Junior VF. Amazon açai: Chemistry and biological activities: A review. **Food chemistry**. 2015; 179: 137-151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.055>
 20. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção de Açai (cultivo) no Brasil**. 2022. Available in: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br> Accessed 21 Ago 2024.
 21. De Jesus ALT, Cristianini M, Santos NM, Maróstica Júnior MR. Effects of high hydrostatic pressure on the microbial inactivation and extraction of bioactive compounds from açai (*Euterpe oleracea* Martius) pulp. **Food Res. Int**. 2020; 130: 108856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108856>.
 22. Barbosa PO, Souza MO, Silva MP, Santos GT, Silva ME, Bermano G, Freitas RN. Açai (*Euterpe oleracea* Martius) supplementation improves oxidative stress biomarkers in liver tissue of dams fed a high-fat diet and increases antioxidant enzymes' gene expression in offspring. **Biomed. Pharmacother**. 2021; 139: 111627. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2021.111627>
 23. Viganò J, De Aguiar AC, Veggi PC, Sanches VL, Rostagno MA, Martinez J. Techno-economic evaluation for recovering phenolic compounds from açai (*Euterpe oleracea*) by-product by pressurized liquid extraction. **J Supercrit Fluids**. 2022; 179: 105413. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2021.105413>
 24. Amorim DS, Amorim IS, Chisté RC, Fernandes FAN, Mariutti LRB, Godoy HT, Mendonça CRB. Nonthermal technologies for the conservation of açai pulp and derived products: A comprehensive review. **Food Research International**. 2023; 113575. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113575>
 25. Garzón GA, Narváez-Cuenca CE, Vincken JP, Gruppen H. Polyphenolic composition and antioxidant activity of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) from Colombia. **Food Chem**. 2017; 217: 364-372. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.107>
 26. Barbosa PO, De Souza MO, Pala D, Freitas RN. Açai (*Euterpe oleracea* Martius) as an antioxidant. **Pathology**. 2020; 127-133. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815972-9.00012-3>

27. Si LW. Trending foods and beverages. In: **Food and society**. Academic Press. 2020; 305-321. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811808-5.00016-7>
28. Oliveira NKS, Almeida MRS, Pontes FMM, Barcelos MP, Silva CHTP, Rosa JMC, Cruz RAS, Hage-Melim LIS. Antioxidant effect of flavonoids present in *Euterpe oleraceae* Martius and neurodegenerative diseases: a literature review. **Cent Nerv Syst Agents Med Chem**. 2019; 19 (2): 75-99. DOI: <https://doi.org/10.2174/1871524919666190502105855>
29. Barros L, Calhella RC, Queiroz MJR, Santos-Buelga C, Santos EA, Regis WC, Ferreira IC. The powerful in vitro bioactivity of *Euterpe oleracea* Mart. seeds and related phenolic compounds. **Ind Crops Prod**. 2015; 76: 318-322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.05.086>
30. Machado AK, Cadoná FC, Assmann CE, Andreazza AC, Duarte MMMF, Dos Santos Branco C, Da Cruz IBM et al. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) has anti-inflammatory potential through NLRP3-inflammasome modulation. **J. Funct. Foods**. 2019; 56: 364-371. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.03.034>
31. Sharifi-Rad J, Dey A, Koirala N, Shaheen S, El Omari N, Salehi B, Caruntu C et al. *Cinnamomum* species: bridging phytochemistry knowledge, pharmacological properties and toxicological safety for health benefits. **Frontiers in Pharmacology**. 2021; 12: 600139. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.600139>
32. Mini Raj N, Vikram HC, Muhammed Nissar VA, Nybe EV. Cinnamon and Indian Cinnamon (Indian Cassia). In: **Handbook of Spices in India: 75 Years of Research and Development**. Singapore: Springer Nature Singapore. 2023; 2921-2991. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3728-6_43
33. Khoshnevisan K, Alipanah H, Baharifar H, Ranjbar N, Osanloo M. Chitosan nanoparticles containing *cinnamomum verum* J. Presl essential oil and cinnamaldehyde: preparation, characterization and anticancer effects against melanoma and breast cancer cells. **Traditional and Integrative Medicine**. 2022; 7 (1): 1-12. DOI: <https://doi.org/10.18502/tim.v7i1.9058>
34. Nazareno AM, Purnamasari L, Dela Cruz JF. In vivo and In vitro anti-diabetic effects of cinnamon (*Cinnamomum* sp.) plant extract: A review. **Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal**. 2022; 5 (2): 151–171. DOI: <https://doi.org/10.20956/canrea.v5i2.673>
35. Labbaci FZ, Belkhodja H, Elkadi FZ, Megharbi A, Belhouala K. HPLC-MS Analysis and evaluation of Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential of *Cinnamomum cassia* Extract. **Tropical Journal of Natural Product Research**. 2023; 7 (8): 3637-3642. DOI: <http://www.doi.org/10.26538/tjnpr/v7i8.10>
36. Gogoi R, Sarma N, Loying R, Pandey Sk, Begum T, Lal M. A comparative analysis of bark and leaf essential oil and their chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activities and genotoxicity of north east Indian *Cinnamomum zeylanicum* Blume. **J. Nat. Prod**. 2021; 11 (1): 74-84. DOI: <https://doi.org/10.2174/2210315509666191119111800>
37. Chuesiang P, Siripatrawan U, Sanguandeekul R, Yang JS, McClements DJ, McLandsborough L. Antimicrobial activity and chemical stability of Cinnamon oil in oil-in-water nanoemulsions fabricate during the phase inversion temperature method. **LWT**. 2019; 110: 190-196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.012>
38. Muhammad DRA, Tuenter E, Patria GD, Foubert K, Pieters L, Dewettinck K. Phytochemical composition and antioxidant activity of *Cinnamomum burmannii* Blume extracts and their potential application in white chocolate. **Food Chem**. 2021; 340: 127983. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127983>

39. Tamfu AN, Kucukaydin S, Ceylan O, Sarac N, Duru ME. Phenolic composition, enzyme inhibitory and anti-quorum sensing activities of cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum* Blume) and Basil (*Ocimum basilicum* Linn). **Chem. Africa**. 2021; 4: 759–767. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42250-021-00265-5>
40. Marques LLM, Panizzon GP, Aguiar BAA, Simionato AS, Cardozo-Filho L, Andrade G, De Mello JCP et al. Guaraná (*Paullinia cupana*) seeds: Selective supercritical extraction of phenolic compounds. **Food Chem**. 2016; 212: 703-711. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.028>.
41. Roggia I, Dalcin AJF, De Souza D, Machado AK, De Souza DV, Da Cruz IBM, Gomes P et al. Guarana: Stability-Indicating RP-HPLC method and safety profile using microglial cells. **J Food Compos Anal**. 2020; 94: 103629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629>
42. Bittencourt LDS, Zeidán-Chuliá F, Yatsu FKJ, Schnorr CE, Moresco KS, Kolling EA, Moreira JCF et al. Guarana (*Paullinia cupana* Mart.) prevents β -amyloid aggregation, generation of advanced glycation-end products (AGEs), and acrolein-induced cytotoxicity on human neuronal-like cells. **Phytother Res**. 2014; 28 (11): 1615-1624. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.5173>
43. Hertz E, Cadoná FC, Machado AK, Azzolin V, Holmrich S, Assmann C, Ledur P, Ribeiro EE, Filho OCS, Mânica-Cattani MF, Da Cruz IBM. Effect of *Paullinia cupana* on MCF-7 breast cancer cell response to chemotherapeutic drugs. **Mol Clin Oncol**. 2015; 3 (1) 37-43. DOI: <https://doi.org/10.3892/mco.2014.438>
44. Kober H, Tatsch E, Torbitz VD, Cargnin LP, Sangoi MB, Bochi GV, Moresco RN et al. Genoprotective and hepatoprotective effects of Guarana (*Paullinia cupana* Mart. var. *sorbilis*) on CCl₄-induced liver damage in rats. **Drug Chem Toxicol**. 2016; 39 (1): 48-52. DOI: <https://doi.org/10.3109/01480545.2015.1020546>
45. Flores ERS, Dal Berto M, Ranzi AD, Cadoná FC, Machado A, Dos Santos GFF, Da Cruz IBM, Morrone FB, Graziotin T, Bicca CG. Effect of guaraná extract (*Paullinia cupana*), an amazonian fruit richest in caffeine on human bladder cancer cell line. **Rev. Bras. Geriatr. Gerontol**. 2017; 8: 88-102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629>
46. Krewer CC, Suleiman L, Duarte MMMF, Ribeiro EE, Mostardeiro CP, Montano MAE, Da Cruz IBM et al. Guaraná, a supplement rich in caffeine and catechin, modulates cytokines: evidence from human *in vitro* and *in vivo* protocols. **Eur. Food Res. Technol**. 2014; 239 (1): 49-57. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2182-3>
47. Schimpl FC, Kiyota E, Mayer JLS, De Carvalho Gonçalves JF, Da Silva JF, Mazzafera P. Molecular and biochemical characterization of caffeine synthase and purine alkaloid concentration in guarana fruit. **Phytochemistry**. 2014; 105: 25-36. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2014.04.018>
48. Richardson ML, Arlotta CG. Differential yield and nutrients of *Hibiscus sabdariffa* L. genotypes when grown in urban production systems. **Sci. Hortic**. 2021; 288: 110349. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110349>
49. Borrás-Linares I, Fernández-Arroyo S, Arráez-Roman D, Palmeros-Suárez PA, Del Val-Díaz R, Andrade-González I, Segura-Carretero A et al. Characterization of phenolic compounds, anthocyanidin, antioxidant and antimicrobial activity of 25 varieties of Mexican Roselle (*Hibiscus sabdariffa*). **Ind Crops Prod**. 2015; 69: 385-394. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2015.02.053>
50. Wang C, Karmakar B, Awwad NS, Ibrahim HA, El-Kott AF, Abdel-Daim MM, Batiha GES et al. Bio-supported of Cu nanoparticles on the surface of Fe₃O₄ magnetic nanoparticles mediated by *Hibiscus sabdariffa* extract: Evaluation of its

- catalytic activity for synthesis of pyrano [3, 2-c] chromenes and study of its anti-colon cancer properties. **Arab. J. Chem.** 2022; 15 (6): 103809. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.103809>
51. Su N, Li J, Yang L, Hou G, Ye M. Hypoglycemic and hypolipidemic effects of fermented milks with added roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. **J. Funct. Foods.** 2018; 43: 234-241. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.017>
 52. Vargas-León EA, Díaz-Batalla L, González-Cruz L, Bernardino-Nicanor A, Castro-Rosas J, Reynoso-Camacho R, Gómez-Aldapa CA. Effects of acid hydrolysis on the free radical scavenging capacity and inhibitory activity of the angiotensin converting enzyme of phenolic compounds of two varieties of jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). **Ind Crops Prod.** 2018; 116: 201-208. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.044>
 53. Chen JH, Wang CJ, Wang CP, Sheu JY, Lin CL, Lin HH. *Hibiscus sabdariffa* leaf polyphenolic extract inhibits LDL oxidation and foam cell formation involving up-regulation of LXR α /ABCA1 pathway. **Food Chem.** 2013; 141 (1): 397-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.026>
 54. Chang HC, Peng CH, Yeh DM, Kao ES, Wang CJ. *Hibiscus sabdariffa* extract inhibits obesity and fat accumulation, and improves liver steatosis in humans. **Food Funct.** 2014; 5 (4): 734-739. DOI: <https://doi.org/10.1039/C3FO60495K>
 55. Adewuyi A, Otuechere CA, Adebayo OL, Oyeka M, Adewole C. Atherogenic index and lipid profiles in albino rats fed with surface modified *Hibiscus sabdariffa* cellulose. **Scientific African.** 2021; 14: e01025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01025>
 56. Kaulika N, Febriansah R. Chemopreventive activity of roselle's hexane fraction against breast cancer by in-vitro and in-silico study. In: Third international conference on sustainable innovation 2019–health science and nursing (IcoSIHSN 2019). Atlantis Press. 2019. 66-71. DOI: 10.2991/icosihsn-19.2019.16
 57. El Bayani GF, Marpaung NLE, Simorangkir DAS, Sianipar IR, Ibrahim N, Kartinah NT, Ilyas EI et al. Anti-inflammatory effects of *Hibiscus sabdariffa* Linn. on the IL-1 β /IL-1ra ratio in plasma and hippocampus of overtrained rats and correlation with spatial memory. **Kobe J Med Sci.** 2018; 64 (2): E73. Available in: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6347049/>
 58. Ojulari OV, Lee SG, Nam JO. Beneficial effects of natural bioactive compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. on obesity. **Molecules.** 2019; 24 (1): 210. DOI: 10.3390/molecules24010210
 59. Agunbiade HO, Fagbemi TN, Aderinola TA. Composition and antioxidant properties of beverages from graded mixture of green/roasted coffee and *Hibiscus sabdariffa* calyx flours. **Appl. Food Res.** 2022; 100163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100163>
 60. Paulraj J, Govindarajan R, Palpu P. The genus *Spilanthes* ethnopharmacology, phytochemistry, and pharmacological properties: A review. **Adv Pharmacol Sci.** 2013; 2013 (1): 510298. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2013/510298>
 61. Uthpala TGG, Navaratne SB. *Acmella oleracea* plant; identification, applications and use as an emerging food source–review. **Food Rev. Int.** 2021; 37 (4): 399-414. DOI: 10.1080/87559129.2019.1709201
 62. Lalthanpuii PB, Lalchandama K. Chemical composition and broad-spectrum anthelmintic activity of a cultivar of toothache plant, *Acmella oleracea*, from Mizoram, India. **Pharm. Biol.** 2020; 58 (1): 393-399. DOI: 10.1080/13880209.2020.1760316

63. Joshi V, Sharma GD, Jadhav SK. Alkamides: Multifunctional bioactive agents in *Spilanthes spp.* **J. Sci. Res.** 2020; 64: 198–206. DOI: 10.37398/JSR.2020.640129
64. Barbosa AF, De Carvalho MG, Smith RE, Sabaa-Srur AUO. Spilanthal: Occurrence, extraction, chemistry and biological activities. **Rev. Bras. Farmacogn.** 2016; 26: 128–133. DOI: 10.1016/j.bjp.2015.07.024
65. Nascimento LES, Arriola NDA, Da Silva LAL, Faqueti LG, Sandjo LP, De Araújo CES, Biavatti MW, Barcelos-Oliveira JL, Amboni RDMC. Phytochemical profile of different anatomical parts of jambu (*Acmella oleracea* (L.) R.K. Jansen): A comparison between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. **Food Chem.** 2020; 332: 127393. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127393
66. Nodari E, Gerhardt M. The Uruguay River: A Permeable Border in South America. **Review of International American Studies.** 2021; 14 (1): 201-227. DOI: <https://doi.org/10.31261/rias.10047>
67. Alves FEDSB, Scheer AP. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*), science, technology and health: A systematic review on research, recent advances and possible paths for future studies. **South African Journal of Botany.** 2024; 168: 573-587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.008>
68. Cardozo Junior EL, Morand C. Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.- Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health - a review. **J. Funct. Foods.** 2016; 21: 440-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.010>
69. Cardozo AGL, Rosa RL, Novak RS, Folquitto DG, Schebelski DJ, Brusamarello LCC, Ribeiro DTB. Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. – hil.): a comprehensive review on chemical composition, health benefits and recent advances. **Res., Soc. Dev.** 2021; 10 (11): e590101120036. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.20036>
70. Bracesco N, Sanchez AG, Contreras V, Menini T, Gugliucci A. Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: minireview. **Journal of Ethnopharmacology.** 2011; 136 (3): 378-384. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.06.032>
71. Farias IV, Fraton E, Theindl LC, Campos AM, Dalmarco EM, Reginatto FH. *In Vitro* Free Radical Scavenging Properties and Anti-Inflammatory Activity of *Ilex paraguariensis* (Maté) and the Ability of Its Major Chemical Markers to Inhibit the Production of Proinflammatory Mediators. **Mediators of inflammation.** 2021; 2021 (1): 7688153. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/7688153>
72. Cogoi L, Marrassini C, Saint Martin EM, Alonso MR, Filip R, Anesini C. Inhibition of Glycation End Products Formation and Antioxidant Activities of *Ilex paraguariensis*: comparative study of fruit and leaves extracts. **Journal of Pharmacopuncture.** 2023; 26 (4): 338–347. DOI: <https://doi.org/10.3831%2FKPI.2023.26.4.338>
73. Lutomski P, Gozdziwska M, Florek-Luszczki M. Health properties of yerba mate. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine.** 2020; 27 (2): 310-313. DOI: <http://dx.doi.org/10.26444/aaem/119994>
74. Bojić M, Simon Haas V, Šarić D, Maleš Ž. Determination of flavonoids, phenolic acids, and xanthines in mate tea (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.). **J Anal Methods Chem.** 2013; 2013 (1): 658596. Available in: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2013/658596>
75. Braghini F, De Carli CG, Bonsaglia B, Silveira Junior JFS, De Oliveira DF, Tramujas J, Tonial IB. Composição físico-química de erva-mate, antes e após simulação do chimarrão. **Pesqui. Agropecu. Gaúch.** 2014; 20 (1/2): 7-15.

- Available in:
<https://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/63/48>
76. Silveira TFF, Meinhardt AD, Coutinho JP, De Souza TCL, Cunha ECE, De Moraes MR, Godoy HT. Content of lutein in aqueous extracts of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil). **Food Res. Int.** 2016; 82: 165-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.12.033>
 77. Barbosa P, Pala D, Silva C, Souza M, Volp AC, Freitas R. P46 Açaí pulp (*Euterpe oleraceae* Martius) consumption improves lipidic peroxidation markers in healthy women. **Biochem. Pharmacol.** 2017; 139: 141. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2017.06.047>
 78. Pontes VCB, De Melo Tavares JPT, Rosenstock TR, Rodrigues DS, Yudi MI, Soares JPM, Gamberini MT et al. Increased acute blood flow induced by the aqueous extract of *Euterpe oleracea* Mart. fruit pulp in rats *in vivo* is not related to the direct activation of endothelial cells. **J. Ethnopharmacol.** 2021; 271: 113885. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.113885>
 79. Romão MH, De Bem GF, Santos IB, De Andrade Soares R, Ognibene DT, De Moura RS, Costa CA, Resende ÂC. Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) seed extract protects against hepatic steatosis and fibrosis in high-fat diet-fed mice: Role of local renin-angiotensin system, oxidative stress and inflammation. **J. Funct. Foods.** 2020; 65: 103726. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103726>
 80. Dias-Souza MV, Dos Santos RM, Cerávolo IP, Cosenza G, Marçal PHF. *Euterpe oleracea* pulp extract: Chemical analyses, antibiofilm activity against *Staphylococcus aureus*, cytotoxicity and interference on the activity of antimicrobial drugs. **Microb. Pathog.** 2018; 114: 29-35. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.11.006>
 81. Souza-Monteiro JR, Hamoy M, Santana-Coelho D, Arrifano GP, Paraense RS, Costa-Malaquias A, Crespo-López ME et al. Anticonvulsant properties of *Euterpe oleracea* in mice. **Neurochem. Int.** 2015; 90: 20-27. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2015.06.014>
 82. Di Ottavio F, Gauglitz JM, Ernst M, Panitchpakdi MW, Fanti F, Compagnone D, Dorrestein PC, Sergi M. A UHPLC-HRMS based metabolomics and chemoinformatics approach to chemically distinguish 'super foods' from a variety of plant-based foods. **Food chemistry.** 2020; 313: 126071. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.126071>
 83. Kiran S, Kujur A, Prakash B. Assessment of preservative potential of *Cinnamomum zeylanicum* Blume essential oil against food borne molds, aflatoxin B1 synthesis, its functional properties and mode of action. **Innov Food Sci Emerg Technol.** 2016; 37: 184-191. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2016.08.018>
 84. Ranucci D, Branciarri R, Cobellis G, Acuti G, Miraglia D, Olivieri O, Roila R, Trabalza-Marinucci M. Dietary essential oil mix improves oxidative stability and hygienic characteristic of lamb meat. **Small Rumin. Res.** 2019; 175: 104-109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2019.04.012>
 85. Matsuura E, Godoy JSR, De Souza Bonfim-Mendonça P, De Mello JCP, Svidzinski TIE, Gasparetto A, Maciel SM. In vitro effect of *Paullinia cupana* (guarana) on hydrophobicity, biofilm formation, and adhesion of *Candida albicans* to polystyrene, composites, and buccal epithelial cells. **Arch. Oral Biol.** 2015; 60: 471-478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.05.026>
 86. Rangel MP, De Mello JCP, Audi EA. Evaluation of neurotransmitters involved in the anxiolytic and panicolytic effect of the aqueous fraction of *Paullinia cupana*

- (guaraná) in elevated T maze. **Rev Bras Farmacogn.** 2013; 23 (2) 358-365. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2013005000024>
87. Silva GS, Canuto KM, Ribeiro PRV, De Brito ES, Nascimento MM, Zocolo GJ, De Jesus RM et al. Chemical profiling of guarana seeds (*Paullinia cupana*) from different geographical origins using UPLC-QTOF-MS combined with chemometrics. **Food Res. Int.** 2017; 102: 700-709. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.055>
 88. Cadoná FC, Rosa JL, Schneider T, Cubillos-Rojas M, Sánchez-Tena S, Azzolin VF, Da Cruz IBM et al. Guaraná, a highly caffeinated food, presents *in vitro* antitumor activity in colorectal and breast cancer cell lines by inhibiting AKT/mTOR/S6K and MAPKs pathways. **Nutr Cancer.** 2017; 69 (5) 800-810. DOI: <https://doi.org/10.1080/01635581.2017.1324994>
 89. Półtorak A, Marcinkowska-Lesiak M, Lendzion K, Moczowska M, Onopiuk A, Wojtasik-Kalinowska I, Wierzbicka A. Evaluation of the antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial effects of catuaba, galangal, roseroot, maca root, guarana and polyfloral honey in sausages during storage. **LWT.** 2018; 96: 364-370. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.035>
 90. Portella RDL, Barcelos RP, Da Rosa EJF, Ribeiro EE, Da Cruz IBM, Suleiman L, Soares FAA. Guaraná (*Paullinia cupana* Kunth) effects on LDL oxidation in elderly people: an in vitro and in vivo study. **Lipids Health Dis.** 2013; 12 (1): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-511X-12-12>
 91. Frimpong G, Adotey J, Ofori-Kwakye K, Kipo SL, Dwomo-Fokuo Y. Potential of aqueous extract of *Hibiscus sabdariffa* calyces as colouring agent in three paediatric oral pharmaceutical formulations. **J. Appl. Pharm. Sci.** 2014; 4 (12): 001-007. DOI: <https://dx.doi.org/10.7324/JAPS.2014.41201>
 92. Wang J, Cao X, Jiang H, Qi Y, Chin KL, Yue Y. Antioxidant activity of leaf extracts from different *Hibiscus sabdariffa* accessions and simultaneous determination five major antioxidant compounds by LC-Q-TOF-MS. **Molecules.** 2014; 19 (12): 21226-21238. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules191221226>
 93. Huang HC, Chang WT, Wu YH, Yang BC, Xu MR, Lin MK, Lee MS et al. Phytochemicals levels and biological activities in *Hibiscus sabdariffa* L. were enhanced using microbial fermentation. **Ind Crops Prod.** 2022; 176: 114408. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.114408>
 94. Higginbotham KL, Burris KP, Zivanovic S, Davidson PM, Stewart Jr CN. Aqueous extracts of *Hibiscus sabdariffa* calyces as an antimicrobial rinse on hot dogs against *Listeria monocytogenes* and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. **Food Control.** 2014; 40: 274-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.12.011>
 95. Nafizah AHN, Budin SB, Santhana RL, Osman M, Hanis MIM, Jamaludin M. Aqueous calyces extract of Roselle or *Hibiscus sabdariffa* Linn supplementation improves liver morphology in streptozotocin induced diabetic rats. **Arab J Gastroenterol.** 2017; 18 (1): 13-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajg.2017.02.001>
 96. Ogundele OM, Awolu OO, Badejo AA, Nwachukwu ID, Fagbemi TN. Development of functional beverages from blends of *Hibiscus sabdariffa* extract and selected fruit juices for optimal antioxidant properties. **Food Sci. Nutr.** 2016; 4 (5): 679-685. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.331>
 97. Chakraborty A, Devi RKB, Rita S, Sharatchandra KH, Singh TI. Preliminary studies on antiinflammatory and analgesic activities of *Spilanthes acmella* in experimental animal models. **Indian J. Pharmacol.** 2004; 36 (3): 148-150. Available in:

- https://journals.lww.com/iphr/fulltext/2004/36030/preliminary_studies_on_antiinflammatory_and.4.aspx
98. Ley JP, Krammer G, Looft J, Reinders G, Bertram HJ. Structure-activity relationships of trigeminal effects for artificial and naturally occurring alkamides related to spilanthol. In: **Dev. food sci.** Elsevier. 2006; 43: 21-24. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0167-4501\(06\)80006-3](https://doi.org/10.1016/S0167-4501(06)80006-3)
 99. Wu LC, Fan NC, Lin MH, Chu IR, Huang SJ, Hu CY, Han SY. Anti-inflammatory effect of spilanthol from *Spilanthes acmella* on murine macrophage by down-regulating LPS-induced inflammatory mediators. **J Agric Food Chem.** 2008; 56 (7): 2341-2349. Available in: <https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jf073057e>
 100. Chakraborty A, Devi RKB, Sanjebam R, Khumbong S, Thokchom IS. Preliminary studies on local anesthetic and antipyretic activities of *Spilanthes acmella* Murr. in experimental animals models. **Indian J. Pharmacol.** 2010; 42 (5) 277-279. DOI: 10.4103/0253-7613.70106
 101. Ratnasooriya WD, Pieris KPP, Samarasinghe U, Jayakody JRAC. Diuretic activity of *Spilanthes acmella* flowers in rats. **J. Ethnopharmacol.** 2004; 91: 317-320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jep.2004.01.006>
 102. Ekanem AP, Wang M, Simon JE, Moreno DA. Antiobesity properties of two African plants (*Fromomum meguetta* and *Spilanthes acmella*) by pancreatic lipase inhibition. **Phytother Res: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives.** 2007; 21 (12): 1253-1255. DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.2239>
 103. Sharma V, Boonen J, Chauhan NS, Thakur M, Spiegeleer BDE, Dixit VK. *Spilanthes acmella* ethanolic flower extract: LC-MS alkylamide profiling and its effects on sexual behavior in male rats. **Phytomedicine.** 2011; 18 (13) 1161–1169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2011.06.001>
 104. Anesini C, Turner S, Cogoi L, Filip R. Study of the participation of caffeine and polyphenols on the overall antioxidant activity of mate (*Ilex paraguariensis*). **LWT-Food Science and Technology.** 2012; 45 (2): 299-304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.015>
 105. Peres RG, Tonin FG, Tavares MF, Rodriguez-Amaya DB. HPLC-DAD-ESI/MS identification and quantification of phenolic compounds in *Ilex paraguariensis* beverages and on-line evaluation of individual antioxidant activity. **Molecules.** 2013; 18 (4): 3859-3871. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules18043859>
 106. Blum-Silva CH, Chaves VC, Schenkel EP, Coelho GC, Reginatto FH. The influence of leaf age on methylxanthines, total phenolic content, and free radical scavenging capacity of *Ilex paraguariensis* aqueous extracts. **Rev Bras Farmacogn.** 2015; 25: 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.01.002>
 107. Brasilino MS, Pereira AAF, Zepponi KMC, Neto AHC, De Carvalho AAF, Nakamune ACDMS. Erva mate minimiza as alterações do perfil lipídico promovidas por elevado consumo de sacarose. **Arch. Health Investig.** 2013; 2 (5). Available in: <https://archhealthinvestigation.emnuvens.com.br/ArcHI/article/view/310>
 108. Fagundes A, Danguy LB, Schmitt V, Mazur CE. *Ilex paraguariensis*: bioactive compounds and nutritional properties in health/*Ilex Paraguariensis*: compostos bioativos e propriedades nutricionais na saúde. **Rev. bras. obes., nutr. Emagrecimento.** 2015; 9 (53): 213-223. Available in: https://link.gale.com/apps/doc/A531171232/AONE?u=unicamp_br&sid=googleScholar&xid=7b9055bc

109. Pereira DF, Kappel VD, Cazarolli LH, Boligon AA, Athayde ML, Guesser SM, Silva FRMB et al. Influence of the traditional Brazilian drink *Ilex paraguariensis* tea on glucose homeostasis. **Phytomedicine**. 2012; 19 (10): 868-877. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2012.05.008>
110. Gambero A, Ribeiro ML. The positive effects of yerba maté (*Ilex paraguariensis*) in obesity. **Nutrients**. 2015; 7 (2): 730-750. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu7020730>
111. Rocha DS, Casagrande L, Model JFA, Dos Santos JT, Hoefel AL, Kucharski LC. Effect of yerba mate (*Ilex paraguariensis*) extract on the metabolism of diabetic rats. **Biomed Pharmacother**. 2018; 105: 370-376. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2018.05.132>
112. Lima ME, Colpo AZC, Rosa H, Salgueiro ACF, Da Silva MP, Noronha DS, Folmer V et al. *Ilex paraguariensis* extracts reduce blood glucose, peripheral neuropathy and oxidative damage in male mice exposed to streptozotocin. **J. Funct. Foods**. 2018; 44: 9-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.024>
113. Mejía EG, Song YS, Heck CI, Ramírez-Mares M. Yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*): Phenolics, antioxidant capacity and in vitro inhibition of colon cancer cell proliferation. **J. Funct. Foods**. 2010; 2 (1): 23-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2009.12.003>
114. Arçari DP, Bartchewsky Jr W, Dos Santos TW, Oliveira KA, De Oliveira CC, Gotardo EM, Ribeiro ML et al. Anti-inflammatory effects of yerba maté extract (*Ilex paraguariensis*) ameliorate insulin resistance in mice with high fat diet-induced obesity. **Mol. Cell. Endocrinol**. 2011; 335 (2): 110-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mce.2011.01.003>
115. Puangphraphant S, Dia VP, De Mejia EG, Garcia G, Berhow MA, Wallig MA. Yerba mate tea and mate saponins prevented azoxymethane-induced inflammation of rat colon through suppression of NF- κ B p65ser³¹¹ signaling via I κ B- α and GSK-3 β reduced phosphorylation. **Biofactors**. 2013; 39 (4): 430-440. DOI: <https://doi.org/10.1002/biof.1083>
116. Yu S, Wei Yue S, Liu Z, Zhang T, Xiang N, Fu H. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*) improves microcirculation of volunteers with high blood viscosity: A randomized, double blind, placebo-controlled trial. **Exp. Gerontol**. 2015; 62: 14-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2014.12.016>
117. Veiga DTA, Brighenti R, Copes R, Tatsch E, Moresco RN, Comim FV, Premaor MO. Protective effect of yerba mate intake on the cardiovascular system: a post hoc analysis study in postmenopausal women. **Braz. J. Med. Biol. Res**. 2018; 51 (6): e7253. DOI: <https://doi.org/10.1590/1414-431X20187253>
118. Xu GH, Kim YH, Choo SJ, Ryoo IJ, Yoo JK, Ahn JS, Yoo ID. Chemical constituents from the leaves of *Ilex paraguariensis* inhibit human neutrophil elastase. **Arch. Pharm. Res**. 2009; 32 (9): 1215-1220. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12272-009-1905-7>
119. Conforti AS, Gallo ME, Saraví FD. Yerba Mate (*Ilex paraguariensis*) consumption is associated with higher bone mineral density in postmenopausal women. **Bone**. 2012; 50 (1): 9-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bone.2011.08.029>
120. Ribeiro MC, Santos Â, Riachi LG, Rodrigues ACB, Coelho GC, Marcellini PS, De Maria CAB et al. The effects of roasted yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. ST. Hil.) consumption on glycemia and total serum creatine phosphokinase in patients with traumatic brain injury. **J. Funct. Foods**. 2017; 28: 240-245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.11.024>

121. Zawadzki A, Arrivetti LO, Vidal MP, Catai JR, Nassu RT, Tullio RR, Cardoso DR et al. Mate extract as feed additive for improvement of beef quality. **Food Res. Int.** 2017; 99: 336-347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.033>
122. Jose AJ, Leela NK, Zachariah TJ, Rema J. Evaluation of coumarin content and essential oil constituents in *Cinnamomum cassia* (Nees & T. Nees) J. Presl. **Journal of Spices and Aromatic Crops.** 2019; 28 (1): 43–51. DOI: 10.25081/josac.2019.v28.i1.5743
123. Ferreira ACA, Souza PA. Aspectos nutricionais do jambu, *Acmella oleracea*: uma revisão bibliográfica. In: **Ciência dos Alimentos: Pesquisa e Aplicações**. Editora Poisson. 2023; 1. DOI: 10.36229/978-65-5866-376-8
124. Talaat SM. Role of Cinnamon Supplementation on Glycemic Markers, Lipid Profile and Weight Status in Patients with Type II Diabetes. **ARO-The Scientific Journal of Koya University.** 2023; 11 (1): 1-9. DOI: <https://doi.org/10.14500/aro.11041>
125. Araujo ECG, Silva TC, Cunha Neto EM, Favarin JAS, Silva Gomes JK, Chagas KPT, Maia E et al. Bioeconomy in the Amazon: Lessons and gaps from thirty years of non-timber forest products research. **Journal of Environmental Management.** 2024; 370: 122420. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122420>
126. Silva LN, Oliveira EC, Baratto LC. Amazonian useful plants described in the book “Le Pays des Amazones” (1885) of the Brazilian propagandist Baron de Santa-Anna Nery: a historical and ethnobotanical perspective. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine.** 2024; 20 (1): 26. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13002-024-00663-2>
127. Skendi A, Irakli M, Chatzopoulou P, Bouloumpasi E, Biliaderis CG. Phenolic extracts from solid wastes of the aromatic plant essential oil industry: Potential uses in food applications. **Food Chem. Adv.** 2022; 1: 100065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100065>
128. Ağagündüz D, Şahin TÖ, Yılmaz B, Ekenci KD, Duyar Özer Ş, Capasso R. Cruciferous vegetables and their bioactive metabolites: from prevention to novel therapies of colorectal cancer. **Evid. Based Complementary Altern. Med.** 2022; 2022 (1): 1534083. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/1534083>

CAPÍTULO 2 – Manuscrito de Revisão

Manuscrito de revisão bibliográfica com tema relacionado ao cacau e chocolate, intitulado *Cacau: História, Processamento e Benefícios – Uma Revisão*, em fase de revisão final pelos autores.

Cacau: História, Processamento e Benefícios – Uma Revisão

Felipe de Lima Franzen¹, Rafael Sousa Lima², Tiago Antônio Martins Rodrigues³,
Mari Silvia Rodrigues de Oliveira⁴, Helena Maria André Bolini¹

¹ Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Uni-versidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas - SP, Brasil.;

² Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Centro Universitário INTA – UNINTA, Sobral – CE, Brasil;

³ Graduando em Nutrição pelo Centro Universitário INTA – UNINTA, Sobral-CE, Brasil;

⁴ Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria - RS, Brasil.

Resumo: O consumo do cacau foi iniciado no México entre os astecas. Quando os espanhóis chegaram ao México, provaram a bebida preparada com os frutos do cacau, cujo nome era “xocolatl”. O princípio básico do processamento do cacau permanece o mesmo por muitos anos, ele passa por uma série de processos até a obtenção de seus derivados. Atualmente, as indústrias de processamento de cacau são extremamente automatizadas com alta tecnologia. O chocolate é rico em substâncias com propriedades antioxidantes, como flavonoides, catequinas, epicatequinas e procianidinas. Tais substâncias têm atraído muita atenção, por serem compostos que inibem ou retardam os processos oxidativos no organismo, causados pelo excesso de radicais livres, ocasionados pelo estilo de vida e situações patológicas. Com isso, o objetivo desta revisão é discutir a história e os principais processos relacionados ao cacau e ao chocolate, explorando os seus benefícios para a saúde humana relacionados ao seu consumo. Para isso, foram realizados levantamentos bibliográficos relacionados ao cacau e ao chocolate, identificando seus benefícios para a saúde. Neste sentido, o chocolate é considerado um alimento de elevado valor nutritivo e energético, tornando-se uma grande fonte de consumo de compostos bioativos, contribuindo significativamente na ingestão desses nutrientes. Salienta-se que há uma relação entre o consumo de chocolate e seu potencial de prevenção de doenças.

Palavras-chave: *Theobroma cacao* L., Chocolate, Benefícios, Consumo, Saúde.

Introdução

Uma lenda asteca conta que o Deus da lua roubou uma árvore de cacau da terra dos filhos do sol para presentear seus amigos humanos com a “delícia dos deuses”. Essa lenda influenciou o cientista sueco Carl Linnaeus, em 1753, a classificar a planta denominando-a *Theobroma cacao* L., do grego theo (Deus) e broma (alimento) (Verna, 2013; Montagna et al., 2019).

As árvores de cacau foram encontradas de forma nativa ao longo dos rios Amazonas e Orenoco e seus afluentes. A sua utilização foi iniciada no México entre os astecas como oferecimento aos deuses. Quando os espanhóis chegaram ao México, em 1519, provaram a bebida preparada com os frutos do cacahualth, cujo nome era tchocolath (palavra de origem asteca, mas alterada pela pronúncia espanhola) (Coe; Coe, 1996; Oetterer et al., 2006; Moramarco; Nemi, 2016).

As amêndoas torradas e moídas eram misturadas com água até formar espuma e temperadas com baunilha e outras especiarias. O uso dessa bebida foi sugerido por Hernán Cortez porque, conforme ele próprio escreveu ao imperador Carlos V, uma taça dessa preciosa bebida permitia aos nativos caminhar um dia inteiro sem necessidade de outros alimentos (Dillinger et al., 2000; Lippi, 2013).

A valorização do cultivo do cacau como alimento fez com que, com o passar dos anos, ele se transformasse em moeda utilizada para pagamento de impostos e compra de escravos. Do México se expandiu para outros países da América sob o domínio espanhol e, a partir de 1520, a Espanha passou a receber o cacau para atender as primeiras fábricas chocolateiras. Os espanhóis monopolizaram o comércio do cacau por alguns anos, devido ao segredo do preparo (Valenzuela, Valenzuela, 2015; Beg et al., 2017).

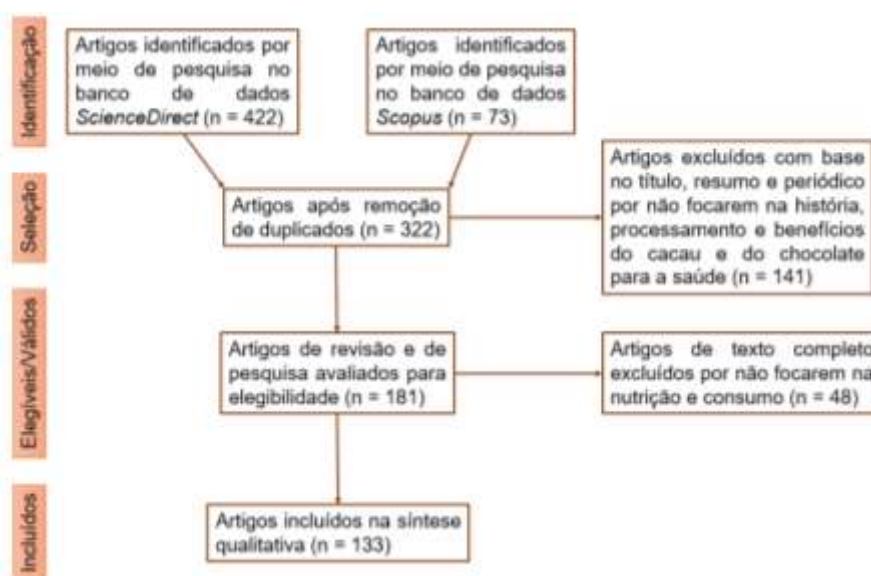
Nas regiões tropicais equatoriais, o cacau é classificado como uma das culturas de rendimento de maior geração de renda entre outras culturas como café, chá e cana-de-açúcar (Hütz-Adams et al., 2016; Beg et al., 2017). O cacau contribui significativamente para o crescimento econômico do setor agrícola dos países produtores (Schroth et al., 2016; Suh, Molua, 2022). Globalmente, nos últimos 15 anos, houve um aumento contínuo na demanda por grãos de cacau e seus derivados, como chocolates e manteiga de cacau (Suh, Molua, 2022).

Nesta revisão, foi discutida a história e os principais processos relacionados ao cacau e ao chocolate, explorando os seus benefícios para a saúde humana relacionados ao seu consumo.

Métodos

Para identificar, organizar e analisar a literatura sobre história, processamento e benefícios do cacau e do chocolate para a saúde, foi realizada uma revisão sistemática (Denyer; Tranfield, 2009) das pesquisas realizadas até o momento. O estudo seguiu um protocolo estruturado. A Figura 1 descreve o método de pesquisa e os critérios para selecionar artigos relevantes na literatura. Os resultados da seleção do estudo serão apresentados com base em um diagrama de fluxo PRISMA (Moher et al., 2009).

Figura 1 - Etapas e critérios do processo de busca e triagem de literatura usando o fluxograma Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).



Fonte: Elaborada pelos autores.

Estratégia de busca

Os artigos de pesquisa foram recuperados por meio de uma busca sistemática em periódicos revisados por pares. Duas bases de dados foram usadas para coletar a literatura: Scopus e ScienceDirect. Uma combinação de termos de busca foi usada para identificar os estudos que focam na história, processamento e benefícios do cacau e do chocolate para a saúde. Os autores identificaram uma sequência de busca onde três grupos separados de palavras foram combinados e então aplicados a ambas bases de dados (Tabela 1).

Tabela 2 - (Tabela 1 do artigo) Bases de dados e termos utilizados neste estudo e número de resultados.

Base de dados	Sequência de pesquisa	Número de resultados
ScienceDirect	“Find articles with these terms” (cocoa and chocolate); (history and processing); (health benefits and nutrition); tipo de documento: artigo de revisão e artigos de pesquisa; faixa de publicação: 2000-2024.	422
Scopus	“Search within: Article title, Abstract, Keywords” (cocoa and chocolate); (history and processing); (health benefits and nutrition); tipo de documento: artigo de revisão e artigos de pesquisa; faixa de publicação: 2000-2024.	73

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro grupo de palavras incluiu “cacau e chocolate”, com o objetivo de incluir pelo menos uma das duas palavras identificadas, para encontrar estudos com cacau e chocolate. No segundo grupo de palavras, os termos “história e processamento” foram incluídos para focar em pesquisas com estudos que abordam a história e processamento do cacau e do chocolate. O terceiro grupo de termos incluiu a seguinte sequência de palavras: “benefícios para a saúde e nutrição”. Esta combinação de palavras teve como objetivo buscar artigos que abordam os benefícios do consumo de cacau e chocolate para a saúde do consumidor e seus aspectos nutricionais. A presente revisão excluiu artigos que não focaram ou abordaram temas sobre história, processamento e benefícios do cacau e do chocolate para a saúde e seus aspectos nutricionais para o consumidor.

E por fim, restrições foram colocadas no tipo de documento, limitando a busca a artigos de revisão e artigos de pesquisa, publicados após o ano 2000. No ScienceDirect, a pesquisa foi conduzida no campo “Find articles with these terms” para os três grupos de palavras. No Scopus, o campo de busca foi no “Search documents”,

também para os três grupos de palavras. Por meio da combinação específica de palavras e da limitação do campo de busca, um primeiro grupo de artigos foi identificado para triagem posterior. As bases de dados de artigos de pesquisa foram consultadas a partir de janeiro de 2022.

Crítérios de seleção

A pesquisa conduzida no ScienceDirect e no Scopus, identificaram 422 e 73 artigos, respectivamente, somando um total de 495 artigos. Após a eliminação de artigos duplicados, os 322 artigos restantes foram avaliados primeiramente com base em: resumo, título e periódico. Em seguida, a base de dados original foi reduzida para 181 artigos, que foram analisados e avaliados. Estudos que não eram focados em cacau ou chocolate ou não foram relacionados com a história, processamento e benefícios para a saúde, foram removidos. Estudos nos quais o cacau ou o chocolate foram analisados apenas como ingredientes de alimentos e formulações, como por exemplo em biscoitos, bolos, confeitos e produtos lácteos, também foram excluídos. Como resultado, um conjunto final de 133 artigos foi identificado para uma análise aprofundada da pesquisa. Um banco de dados foi construído para analisar dados-chave para cada estudo. As principais informações incluídas são: autor, ano de publicação, objetivo, metodologia *in vivo* ou *in vitro*, amostra de chocolate amargo, resultados *in vivo* ou *in vitro*, principais conclusões da pesquisa e país. Grupos temáticos foram criados para categorizar os temas sobre história, processamento, nutrição e benefícios do consumo de cacau ou chocolate. Isso permitiu uma compreensão e organização dos temas abordados nesta revisão.

Discussão

História

Evidências arqueológicas indicam que o cacau foi utilizado por comerciantes maias 400 anos a.C., na Costa Rica e uma grande importância na pureza do cacau foi instaurada pela cultura asteca, dominante na Mesoamérica do século XIV. Cristóvão Colombo foi o primeiro leigo a tomar a bebida com cacau e chegou à Nicarágua em 1502 em busca de uma rota marítima para as especiarias do Oriente (Beckett, 2009; Dand, 2011; Vega, Kwik-Urbe, 2012).

A palavra cacau provavelmente se originou com os povos Olmecas que ocuparam as regiões de planície da costa leste do golfo mexicano. Os termos relacionados ao cacau foram posteriormente adotados e expandidos por povos Maias adjacentes, que ainda no início do século XXI exibiram um vocabulário diversificado e extenso relacionado ao cacau (Coe, Coe 1996; Bañales, 1999; Dillinger et al., 2000).

Os grãos de cacau foram consumidos primeiramente sob a forma de bebida conhecida como xocolatl, um estimulante amargo segundo os astecas. O nome xocolatl foi posteriormente aplicado a todos os produtos, líquidos ou sólidos, feitos a partir do grão de cacau. Esta palavra tem a notável distinção de ser uma das primeiras a ser adotada de uma língua e depois aplicada em uma escala global (Amaya, Pabón, 2017; Montagna et al., 2019; Chévez-Vera et al., 2021).

Os espanhóis foram os primeiros europeus a consumir esta bebida depois de conquistar o império asteca no México no século XVI e aprenderam a técnica de fazer xocolatl (bebida de chocolate) a partir deles. A palavra chocolate e cacau é supostamente originada de xocolatl e cacahuatl, respectivamente, pelos espanhóis (Coe; Coe, 1996; Afoakwa et al., 2007; Vega, Kwik-Urbe, 2012).

Em 1659, durante o reinado de Luiz XV, nasceu a primeira fábrica francesa de chocolates, concedida pelo rei como privilégio a um cidadão francês ao tornar-se fabricante, principalmente para a aristocracia (Oetterer et al., 2006).

Os franceses desenvolveram máquinas e processos. Em 1819 foi fundada a primeira fábrica suíça de chocolate e em 1831 o processo artesanal passou a industrial com a instalação de uma grande fábrica. Juntou-se o leite ao chocolate e firmou-se a indústria suíça chocolateira (Verna, 2013).

Aspecto Agrícola, Classificação e Variedades de cacau

O habitat natural do cacauéiro é em baixa altitude da floresta tropical perene. O cacau é produzido em países situados na faixa entre 10º N e 10º S do Equador, onde o clima é propício para o cultivo de cacauéiros. As plantas de cacau respondem bem a temperaturas relativamente altas (com média anual máxima de 30 a 32 °C e média mínima de 18 a 21 °C) e umidade relativa geralmente alta, muitas vezes até 100% durante o dia, caindo para 70 a 80% à noite. As árvores são muito sensíveis a deficiência de água no solo. As chuvas devem ser abundantes e bem

distribuídas ao longo do ano. A precipitação anual deve ser entre 1.500 e 2.000 mm por ano (Nair, 2010; Dand, 2011; Beg et al., 2017; Paixão et al., 2019).

O cultivo de cacau em condições adversas no Brasil, especialmente em regiões menos tradicionais como o Planalto Paulista e o Vale do Ribeira, exige o uso de práticas inovadoras como os sistemas agroflorestais multifuncionais (SAFs) e técnicas específicas de irrigação. Em locais como São José do Rio Preto (SJRP), Mendonça, Adolfo, Tabapuã, Itariri e Ubatuba, o Projeto Cacau SP – SAA (liderado pela Coordenadoria de Assistência Técnica Integral – CATI e Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios - APTA) tem sido um exemplo, com 600 hectares de cacau cultivado em São Paulo (Borges et. al., 2022).

No cultivo em SAFs, o cacau é plantado junto com outras espécies arbóreas e plantas de diferentes alturas, promovendo o sombreamento necessário ao cacau e criando um ecossistema mais equilibrado e resiliente. Esse sistema permite reduzir a temperatura do solo e diminuir a necessidade de água, além de ajudar no controle de pragas e na conservação do solo. As técnicas de irrigação empregadas neste contexto variam, podendo incluir irrigação por gotejamento, que ajuda a manter uma umidade constante e adequada ao cacau, mesmo em regiões com chuvas sazonais e solos secos (Marques; Monteiro, 2016).

O Projeto Cacau SP – SAA tem mostrado que, com essas práticas, é possível alcançar altos rendimentos mesmo fora das áreas tradicionais de cacaucultura no Brasil, o que contribui para a diversificação da produção agrícola e para a sustentabilidade econômica de produtores em regiões de solo e clima adversos para a cultura do cacau (Borges et. al., 2022).

A classificação utilizada atualmente foi proposta por Cheesman em 1944, que dividiu o gênero *Theobroma* em três grupos varietais: Crioulo, Forasteiro e Trinitário (Wood, 2008). Esta classificação baseia-se nas características do fruto e da semente (Tabela 2).

Crioulo

É uma variedade natural de sabor médio que produz a melhor qualidade do cacau, cultivada em partes da Venezuela, América Central, Nova Guiné, Índia Ocidental, Sri Lanka, Timor Leste e Java (Indonésia). Cacaos da variedade criollo dominaram o mercado até meados do século XVIII, mas hoje restam apenas algumas árvores puras. Esta variedade provém de plantas mais susceptíveis a pragas e

doenças, menos produtivas, calcula-se que a produção total de cacau crioulo não ultrapasse os 5% (Beg et al., 2017).

Tabela 3 - (Tabela 2 do artigo) Características das populações do gênero *Theobroma*.

	Crioulo	Forasteiro	Trinitário
Casca do fruto			
Cor	Ocasionalmente vermelho	Variável	Variável
Textura	Macia	Dura	Geralmente dura
Sementes			
Cor dos cotilédones	Branco, marfim ou violeta muito claro	Violeta claro a forte	Variável, raramente brancas
Nº médio fruto⁻¹	20 – 30	30 ou mais	30 ou mais

Fonte: Adaptado de Toxopeus (1987).

Forasteiro

É uma variedade robusta que sobrevive sob condições adversas. O Forasteiro espalhou-se pela bacia amazônica e em direção às Guianas, esta variedade é a que está mais difundida, visto que é mais resistente a pragas e doenças e é mais produtiva, sendo responsável por 90-95% da produção total de cacau. Inclui variedades cultivadas, semisselvagens e selvagens, das quais o cacau Amelonado é a mais amplamente plantada (Beg et al., 2017).

O cacau Forasteiro possui aromas especiais e é classificado como fino. Alguns tipos de forasteiros amazônicos, apresentam alta intensidade de aroma e sabor como os delicados e excelentes sabores dos Arriba equatorianos. As variedades do grupo Forasteiro apresentam frutos que variam da forma de cabeça ao amelonado, possuem sementes achatadas de cor violeta intenso, produzindo um cacau conhecido como "tipo básico". É a variedade mais difundida, dominando 80% da produção mundial, predomina nas plantações da Bahia, Amazônia, e nos países produtores da África. Da variedade "comum", amplamente cultivada na zona cacauera da Bahia, houve uma mutação, dando origem ao cacau Catongo e Almeida, que se caracterizam por possuírem sementes brancas (Kongor et al., 2016; Castro-Alayo et al., 2019).

Trinitário

O terceiro tipo, geralmente descrito como Trinitário contém muitas vezes na mesma baga/sementes com cotilédones que variam de quase branco a violeta, este híbrido apresenta características intermediárias das duas espécies que lhe deram origem (Crioulo e Forasteiro), foi amplamente plantado em Trindade depois das plantações de Crioulo terem sido devastadas no século XVIII e são encontrados principalmente na Índia Ocidental (Beg et al., 2017).

O mercado mundial de cacau distingue duas grandes categorias de grãos de cacau: grãos de cacau "finos ou saborosos" e grãos de cacau *commodity* ou "comuns", também denominados de *bulk*. Como generalização, grãos de cacau fino ou sabor são produzidos a partir de variedades de cacauzeiros Crioulo ou Trinitário, enquanto grãos de cacau a granel vêm da variedade Forasteiro. Há, no entanto, exceções conhecidas para essa generalização. As variedades nacionais no Equador, consideradas do tipo Forasteiro, produzem cacau fino ou com sabor. Por outro lado, os grãos de cacau de Camarões, produzidos por variedades do tipo Trinitário e cujo pó de cacau tem uma cor vermelha distinta e desejada, são classificados como grãos de cacau a granel. Praticamente toda a atividade principal nas últimas cinco décadas envolveu o cacau a granel (Nair, 2010; Dand, 2011).

Cacau Amelonado

Este tipo de cacau constitui a grande maioria dos pomares cultivados na África Ocidental, onde é conhecido como "Amelonado da África Ocidental". O nome dado à variedade foi atribuído devido à semelhança da forma do seu fruto com a dos melões. A cápsula é verde clara a amarela, com sulcos pouco profundos e o número médio de sementes por cápsula é cerca de 40 sementes com coloração violeta escuro (Batalha, 2009; Li et al., 2021).

A amêndoa de cacau é composta de cafeína (0,2%), carboidratos (11%) dentre eles o amido com aproximadamente 7%, proteína (10-15%), tanino (6%), teobromina (1,2%), lipídios naturais como a manteiga (54%), celulose (9%), água (5%) e pentosano (7,5%) (Mubeteneh, 2007; Bertazzo et al., 2013; Suh; Molua, 2022).

Primeiro Processamento e Comércio

Os holandeses foram os primeiros a comercializar os grãos de cacau e dominaram o comércio mundial até o século XVIII o que fez com que se envolvessem mais em pesquisas sobre o seu processamento. A maior parte do processamento estava nas mãos dos espanhóis nos séculos XVI e XVII, mas eles adquiriam a maior parte de seus grãos de Amsterdã ou do porto holandês de Zeeland (Batalha, 2009; Verna, 2013; Montagna et al., 2019).

O holandês Coenraad Johannes van Houten desenvolveu um processo de prensagem mecânica para reduzir a gordura da bebida de chocolate e fracionar o liquor de cacau. Este mesmo pesquisador desenvolveu o chamado “processo holandês” que se baseava em um tratamento do cacau por meio alcalino. Este processo de alcalinização foi realizado originalmente para melhorar a solubilidade, mas verificou-se que, ao mesmo tempo, o sabor e a cor também foram alterados (Batalha, 2009; Paixão et al., 2019).

A manteiga de cacau surgiria alguns anos mais tarde e originalmente era utilizada como uma simples gordura caseira e posteriormente serviria como base para a criação do chocolate. Ao adicionar a manteiga de cacau a uma mistura de liquor e açúcar, John Fry na Inglaterra em 1847, criou o chocolate, uma das maiores e mais importante descoberta da indústria alimentícia (European Commission, 2000; Efraim et al., 2013).

A partir dos grãos de cacau, a indústria de alimentos produz diferentes tipos de chocolate com características definidas e ingredientes que passam por diversos processos de transformação (Beckett, 2019).

De acordo com Montagna et al. (2019) o chocolate amargo contém sólidos de cacau (até 80% do peso total) e manteiga de cacau, que proporcionam um aroma intenso e persistente característico do grão, com derretimento na boca, deixando um sabor agradável e amargo. Sua qualidade depende da porcentagem de cacau. A maioria dos benefícios proporcionados para a saúde, atribuíveis ao chocolate, estão associados ao consumo de chocolate amargo.

Colheita

A colheita do cacau é o primeiro passo fundamental no processo de produção do chocolate e envolve a seleção cuidadosa dos frutos maduros para

garantir a qualidade final das sementes que serão fermentadas, secas e transformadas em amêndoas para produção dos *nibs*, para fabricação de chocolates (Badrie et al., 2015; Di Mattia et al., 2017).

O cacau é o fruto do cacaueiro, árvores tropicais que se desenvolvem, predominantemente, em regiões de clima quente e úmido. O processo de colheita dos frutos de cacau é manual e precisa ser realizado com atenção para não danificar o fruto ou a planta. A colheita pode ocorrer várias vezes ao ano, dependendo do ciclo de produção de cada região, com duas principais colheitas, uma maior e outra de menor volume (Badrie et al., 2015; Fowler; Coutel, 2017).

O ponto ideal de colheita ocorre quando os frutos atingem plena maturação, o que pode ser identificado visualmente pela cor externa da casca e pelo toque no fruto. A cor varia dependendo da variedade de cacau, podendo mudar de verde para amarelo, laranja ou vermelho, dependendo da variedade. Os frutos maduros apresentam casca firme e coloração uniforme. A maturação ideal leva de 5 a 6 meses após a floração. Esse período pode variar ligeiramente dependendo das condições climáticas, da variedade de cacau e das práticas agrícolas utilizadas. O cacau imaturo ou com maturação excessiva, resulta em sementes de menor qualidade, com impacto negativo no sabor final do chocolate (Afoakwa, 2014; Afoakwa, 2016; Ozturk; Young, 2017).

A colheita do cacau é feita manualmente, utilizando facões ou ferramentas específicas como podões curvos ou facas. Os frutos são cortados diretamente do caule da árvore, sem ferir a planta. Os frutos crescem diretamente do tronco ou dos ramos principais, e o corte deve ser feito rente à casca para evitar danos à árvore. Após o corte, os frutos são recolhidos manualmente e acumulados para o processo de quebra e extração das sementes (Badrie et al., 2015; Di Mattia et al., 2017; Ozturk; Young, 2017).

As colheitas de cacau ocorrem geralmente duas vezes por ano em regiões tropicais. Uma colheita principal, que corresponde à maior parte da produção anual, e uma colheita secundária menor. No entanto, como as árvores de cacau produzem frutos de forma contínua, pode haver colheitas parciais ao longo do ano (Hulme et al., 2018; Streule et al., 2022).

A classificação dos frutos de cacau no momento da colheita é crucial para garantir que apenas os frutos maduros sejam utilizados na produção de amêndoas

para a fabricação de chocolate, pois a maturação afeta diretamente a qualidade das sementes. As sementes dos frutos imaturos, por exemplo, têm baixo teor de açúcar, polifenóis e maior adstringência, o que resulta em cacau de menor qualidade. Essas sementes podem não fermentar adequadamente, comprometendo o sabor final. Os frutos maduros de cacau contêm sementes com o teor ideal de polifenóis, açúcares e gorduras, essenciais para o desenvolvimento de precursores de sabor e para um processo fermentativo bem-sucedido. Já os frutos com maturação excessiva, contêm sementes que já começaram a degradar-se. O processo fermentativo dessas sementes é difícil de realizar, e o sabor pode ser comprometido, gerando sensações gustativas desagradáveis (Nguyễn; Lê; Savage, 2018; Suh; Molua, 2022; Cortez et al., 2024).

Após a colheita, os frutos de cacau devem ser processados rapidamente, pois a qualidade das sementes pode ser afetada pela deterioração ocasionada pelo manuseio inadequado. No entanto, em alguns casos, sob algumas condições, os frutos podem ser armazenados temporariamente. Se os frutos não puderem ser imediatamente quebrados para a extração das sementes, eles podem ser armazenados por um curto período em áreas sombreadas e frescas, mas isso não deve durar mais que alguns dias, pois, a umidade e o calor excessivos podem causar reações bioquímicas indesejáveis no interior dos frutos. O atraso prolongado na abertura dos frutos pode causar, também, a degradação das sementes e favorecer o desenvolvimento de microrganismos (Sarbu; Csutak, 2019; Suh; Molua, 2022; Cortez et al., 2024).

Após a colheita e extração das sementes, o armazenamento destas não pode ser por longos períodos e logo devem ser submetidas ao processo de fermentação, secagem e torra, que são etapas fundamentais para preservar a qualidade do cacau. Logo após a colheita, os frutos são quebrados manualmente ou com ferramentas simples. As sementes, envolvidas em uma polpa mucilaginosa, são extraídas e preparadas para a fermentação, que deve começar rapidamente para evitar a deterioração. A polpa rica em açúcares que cobre as sementes é fundamental para iniciar a fermentação, pois serve como substrato para as leveduras e bactérias que conduzem o processo fermentativo (De Vuyst; Weckx, 2016; Sarbu; Csutak, 2019; Cortez et al., 2024)

O estágio de maturação no momento da colheita tem um impacto direto na composição química das sementes de cacau, influenciando o desenvolvimento de precursores de sabor durante a fermentação e torra. Colher frutos imaturos ou com maturação excessiva pode resultar em menor rendimento na produção de chocolate de alta qualidade, já que as sementes podem ter menos gordura e compostos aromáticos. As sementes de frutos maduros possuem uma composição ideal de açúcares e polifenóis importantes para um processo fermentativo eficiente, que é crucial para o desenvolvimento dos sabores desejáveis (Fleet et al., 2018; De Vuyst; Leroy, 2020).

Princípio do Processamento

O princípio básico do processamento do cacau é o mesmo dos últimos 150 anos. Ele passa por uma série de processos incluindo limpeza, quebra e remoção da casca, fermentação, secagem, torrefação, alcalinização e moagem para obtenção do liquor. As indústrias de processamento de cacau são altamente automatizadas, pois disponibilizam-se de alta tecnologia (Afoakwa et al., 2007; Dand, 2011; Araujo et al., 2016).

Antes que os grãos de cacau possam serem comercializados e transformados em produtos industrializados, eles precisam passar pelo processamento pós-colheita em plantações e fazendas, compreendendo as etapas de abertura do fruto e remoção das sementes, separação da polpa, fermentação, secagem e torra (Afoakwa, 2014; Afoakwa, 2016; Ozturk; Young, 2017).

A abertura dos frutos do cacau, também conhecida como quebra do cacau, é uma etapa fundamental após a colheita e precede a fermentação das sementes. Esse processo precisa ser feito com cuidado, pois influencia diretamente a qualidade das sementes e, conseqüentemente, a qualidade final do chocolate. A abertura correta garante que as sementes sejam removidas intactas, preservando a polpa e evitando danos que poderiam comprometer a fermentação e os processos subsequentes (Badrie et al., 2015; Fowler; Coutel, 2017).

A abertura dos frutos de cacau é realizada manualmente com facões ou ferramentas específicas, como machetes ou facas afiadas. O corte é geralmente feito na lateral da vagem para abrir a casca dura. O objetivo é abrir o fruto sem cortar as sementes internamente. Uma vez aberta a casca, as sementes (envoltas por uma

polpa branca e mucilaginosa, rica em açúcares) são retiradas à mão ou são despejadas diretamente do fruto em recipientes para transportar até o local de fermentação. Essa polpa será crucial no processo de fermentação. Em algumas situações industriais, o processo de abertura pode ser mecanizado, utilizando máquinas que cortam as vagens com precisão. Porém, o método manual ainda é amplamente utilizado, especialmente em pequenas e médias fazendas, devido à simplicidade e à necessidade de cuidado para não danificar as sementes (Schwan; Fleet, 2014; De Souza Santana et al., 2020; Dos Santos; De Araújo Kalid, 2020).

Após a abertura, as sementes devem ser rapidamente transportadas para a fermentação. Qualquer atraso no início da fermentação pode causar deterioração ou fermentação inadequada. Em muitas fazendas, as sementes são recolhidas em baldes ou caixas após a abertura e levadas diretamente para as caixas ou esteiras de fermentação (De Souza Santana et al., 2020).

A abertura correta do fruto de cacau desempenha um papel crucial no desenvolvimento da qualidade das sementes que serão processadas para a produção de chocolate. O corte adequado do fruto garante que as sementes sejam removidas sem danos. Sementes cortadas ou machucadas podem oxidar rapidamente e, ao entrar em contato com o ar, podem ter seu sabor comprometido. Além disso, sementes danificadas podem fermentar de maneira inadequada, resultando em defeitos no sabor do chocolate (Fowler; Coutel, 2017; De Souza Santana et al., 2020).

A polpa branca que envolve as sementes é essencial para o processo de fermentação. Ela é rica em açúcares que alimentam as leveduras e as bactérias durante a fermentação, o que ajuda a desenvolver os precursores de sabor do chocolate. Se a polpa for danificada ou contaminada durante a abertura do fruto, isso pode interferir na qualidade da fermentação e, conseqüentemente, no perfil de sabor do chocolate (Schwan; Fleet, 2014).

A abertura do fruto deve ser realizada em um ambiente limpo para evitar a introdução de contaminantes, como sujeira ou microorganismos indesejados. A contaminação das sementes pode causar fermentações indesejadas, resultando em defeitos sensoriais no chocolate, como sabores ácidos ou mofados. Uma abertura eficiente dos frutos permite que as sementes sejam processadas rapidamente, iniciando a fermentação enquanto as sementes ainda estão frescas. A demora na abertura pode levar à degradação da polpa e ao início de processos indesejáveis de

fermentação ou deterioração dentro do fruto (Schwan; Fleet, 2014; De Souza Santana et al., 2020; Dos Santos; De Araújo Kalid, 2020).

A abertura dos frutos de cacau é uma etapa simples, mas extremamente importante no processo de produção de chocolate de alta qualidade. Uma abertura inadequada pode levar a sementes danificadas, comprometendo a fermentação e a qualidade final do produto. Portanto, um processo de abertura bem realizado, com cuidado e atenção, é essencial para garantir o sabor, aroma e textura desejáveis no chocolate (Badrie et al., 2015; Fowler; Coutel, 2017; De Souza Santana et al., 2020).

Na sequência, ocorre o processo de fermentação que constitui uma etapa crítica e essencial para o desenvolvimento dos atributos de qualidade de sabor das amêndoas comerciais de cacau. Após a fermentação e torração, as amêndoas são trituradas e moídas para formar uma pasta, ou líquido, a partir da qual a gordura é parcialmente extraída. A torrefação é responsável por remover compostos voláteis indesejáveis, bem como criar aromas e sabores desejáveis, além de facilitar o processo de quebra, já que torna os grãos de cacau mais frágeis (quebradiço) (Wollgast; Anklam, 2000; Rousseau; Smith, 2008).

Após a torração, as amêndoas do cacau são processadas para obter líquido de cacau, cacau em pó e manteiga de cacau, que são os principais ingredientes do chocolate e de outros diversos produtos como: bebidas de cacau, sorvetes, produtos de padaria que conferem um sabor característico aos seus produtos derivados, entre outros (Ziegler; Hogg, 1999; Afoakwa et al., 2007).

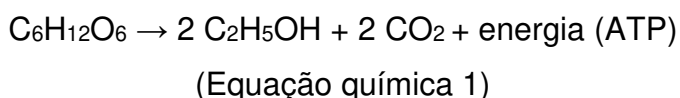
Fermentação

A fermentação das sementes de cacau é um processo essencial na produção de chocolate, pois é responsável pelo desenvolvimento inicial dos precursores de sabor e aroma do chocolate. Esse processo envolve uma série de reações bioquímicas e metabólicas que ocorrem em etapas distintas, promovidas por diferentes tipos de microrganismos, como leveduras, bactérias lácticas e bactérias acéticas (Efraim et al., 2010; Suazo; Davidov-Pardo; Arozarena, 2014; Herrera-Rocha et al., 2021).

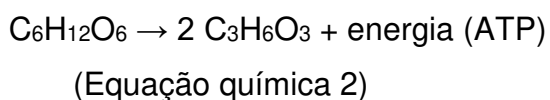
Assim que as sementes de cacau são retiradas do fruto e colocadas em caixas ou em montes cobertos com folhas de bananeira, inicia-se uma fermentação espontânea chamada de fase anaeróbica. Nesta fase, o ambiente ao redor das

amêndoas é pobre em oxigênio, criando condições propícias para a proliferação de leveduras, como *Saccharomyces cerevisiae* (Hamdouche et al., 2019; Díaz-Muñoz et al., 2023).

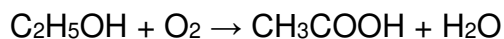
As leveduras metabolizam os açúcares presentes na polpa mucilagínosa que envolve as sementes (glicose, frutose, sacarose), transformando-os em etanol e dióxido de carbono através da fermentação alcoólica como mostra a Equação química 1 (Bastos et al., 2018; Barišić et al., 2019; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).



O etanol produzido começa a permear nas amêndoas e altera a permeabilidade das células dos cotilédones, o que é importante para o desenvolvimento dos precursores de sabor e aroma do chocolate. À medida que a fermentação avança, ocorre a ruptura da mucilagem ao redor das amêndoas, permitindo a entrada de oxigênio, essa fase é chamada de fase de transição (aeróbica parcial). Esse aumento na disponibilidade de oxigênio favorece o crescimento de bactérias ácido-láticas como os *Lactobacillus* spp. As bactérias ácido-láticas convertem os açúcares residuais em ácido lático por meio da fermentação láctica, que ocorre como mostra a Equação química 2 (Zhao et al., 2015; Barišić et al., 2019; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).



O ácido lático produzido contribui para a diminuição do pH das amêndoas, iniciando a degradação celular, que continua a liberar mais precursores de sabor, especialmente aminoácidos e açúcares. Com o rompimento completo da mucilagem e maior exposição ao oxigênio, bactérias acéticas como as do gênero *Acetobacter* spp., começam a se desenvolver, utilizando o etanol gerado pelas leveduras para produzir ácido acético através da oxidação do etanol, essa fase é chamada de aeróbica (fase final da fermentação). Essa fase é descrita pela Equação química 3 (Barišić et al., 2019; Domínguez-Pérez et al., 2020; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).



(Equação química 3)

Segundo Balcázar-Zumaeta et al., (2023) o ácido acético produzido penetra nas amêndoas, juntamente com o aumento da temperatura devido à atividade metabólica intensa. O aumento da temperatura (que pode chegar a 50 °C) e a acidez resultante começam a degradar os embriões das amêndoas e promovendo a liberação de compostos internos das células. De acordo com Goya; Kongor e De Pascual-Teresa, (2022) durante a fermentação, a morte das células e o aumento da temperatura desencadeiam uma série de reações internas nas amêndoas, que incluem:

- Degradação de proteínas em aminoácidos livres;
- Degradação de polifenóis (principalmente catequinas e epicatequinas) pela oxidação enzimática, o que resulta na formação de compostos voláteis e também na redução da adstringência e amargor das amêndoas;
- Reação de *Maillard* onde os açúcares e aminoácidos liberados durante a fermentação servem como precursores para essa reação ocorrer durante a torra subsequente, responsável pelo desenvolvimento dos compostos de sabor e cor característicos do chocolate.

Dulce et al., (2021) afirmam que os ácidos são considerados os principais contribuintes do sabor do cacau. No seu estudo, o ácido acético, o ácido 3-metilbutanoico e o ácido 2-metilpropanoico foram os principais ácidos voláteis odoríferos das amêndoas de cacau *Criollo*, responsáveis por conferir notas ácidas, rançosas e intensas de vinagre que afetam a qualidade do aroma do cacau. O ácido acético foi associado às notas altamente ácidas dos chocolates oriundos do *nibs* das amêndoas de cacau *Criollo* em comparação com os chocolates produzidos a partir dos genótipos *Trinitario* e *Forastero*. A alta volatilidade do ácido acético faz com que sua concentração comece a ser afetada contrariamente após o aumento da temperatura do processo de torrefação, enquanto o ácido 3-metilbutanoico permanece inalterado, representando uma das maiores atividades odoríferas das amêndoas de cacau torrado, mas com uma pequena influência nas concentrações de rancidez.

Durante a fermentação das amêndoas, o revolvimento da massa desempenha um papel essencial na incorporação de oxigênio, promovendo um ambiente aeróbico que favorece o crescimento de microrganismos benéficos, como leveduras e bactérias acéticas. Esse processo é importante para a degradação dos açúcares da polpa do cacau, resultando na produção de ácidos, álcool e compostos voláteis que influenciam diretamente o desenvolvimento dos precursores de aroma e sabor do chocolate (Zhao et al., 2015; Barišić et al., 2019; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).

Nos primeiros dias da fermentação, a atividade das leveduras em ambiente anaeróbico converte os açúcares em etanol. Com o revolvimento, o contato da massa com o oxigênio, ativa as bactérias acéticas, que transformam o etanol em ácido acético. Além disso, a oxigenação acelera a elevação da temperatura da massa, inibindo microrganismos indesejáveis e contribuindo para a morte do embrião da amêndoa, processo essencial para o desenvolvimento do sabor (Barišić et al., 2019; Domínguez-Pérez et al., 2020; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).

A frequência e a intensidade do revolvimento variam conforme a técnica empregada e as condições climáticas, sendo geralmente realizado a partir do segundo ou terceiro dia de fermentação. Um manejo adequado do revolvimento assegura uma fermentação homogênea, reduzindo a formação de defeitos sensoriais e melhorando a qualidade final das amêndoas destinadas à produção de chocolate (Zhao et al., 2015; Barišić et al., 2019; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).

Após cerca de 5 a 7 dias, a fermentação está completa. Nesse ponto, as amêndoas (denominação utilizada para as sementes após a fermentação) são retiradas e secas ao sol ou em secadores para interromper o processo fermentativo, evitando o crescimento de microrganismos indesejados e permitindo o desenvolvimento final dos precursores de sabor e aroma. Esse processo de fermentação é fundamental para a qualidade sensorial do chocolate, pois define o perfil de sabor e aroma que será aprimorado nas posteriores etapas de processamento (Suazo; Davidov-Pardo; Arozarena, 2014; Díaz-Muñoz et al., 2023).

O tempo de fermentação pode ser diminuído pela adição de inóculos/*starters*. As bactérias lácticas, em conjunto de *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus plantarum* e *Acetobacter aceti*; *Saccharomyces cerevisiae* e *Lactobacillus plantarum*; e *Saccharomyces cerevisiae* e *Pichia kudriavzevii* são

utilizadas como culturas *starters* no processo de fermentação, o que pode reduzir o tempo deste processo para 48 e 24h, respectivamente (Dewandari; Rahmawati; Munarso, 2021; Junior et al., 2021; Díaz-Muñoz; De Vuyst, 2022; Rahardjo et al., 2022; Arulmari; Visvanathan, 2024).

Os métodos de fermentação de grãos de cacau mais usuais são: pilha, caixa, cesta e plataforma (Barišić et al., 2019; Deus et al., 2021; Dewandari; Rahmawati; Munarso, 2021; Niikoi Kotey et al., 2022). No entanto, na maioria dos países, o cacau fermentado é produzido usando o método de fermentação em caixa e a quantidade de lote de grãos de cacau processados varia entre 5 e 2.000 kg, o que depende da capacidade de produção da fazenda de cacau local. Os agricultores também usam métodos diferentes, como sacos plásticos, cestos de bambu ou caixas de madeira forradas e cobertas com folhas de bananeira. Por esses métodos, leva de 4 a 7 dias para concluir a fermentação. Além disso, acredita-se que o tamanho da pilha, o tempo de pós-colheita dos grãos, o tempo de fermentação, o número e o tempo de viragem da massa durante a fermentação e o método e o tempo de secagem influenciam a qualidade das amêndoas de cacau (Parra; Castillo; Maldonado, 2018; Fang et al., 2020; Deus et al., 2021; Dewandari; Rahmawati; Munarso, 2021; Arulmari; Visvanathan, 2024).

Os polifenóis presentes nas sementes de cacau, principalmente as catequinas e epicatequinas, são responsáveis pelo sabor amargo e adstringente característico das amêndoas. Durante a fermentação, esses compostos são parcialmente oxidados e degradados, o que reduz significativamente a intensidade do amargor e da adstringência, contribuindo para um sabor mais equilibrado e agradável no produto final (Efraim et al., 2010; Delgado et al., 2018; Cortez et al., 2023).

O processo de fermentação gera compostos voláteis importantes, como aldeídos, álcoois e ácidos orgânicos, que são fundamentais para o aroma do chocolate. Por exemplo, o ácido acético, produzido pelas bactérias acéticas, é um composto volátil que contribui para o perfil aromático das amêndoas. Sem a fermentação, o chocolate teria um aroma menos desenvolvido e menos agradável (Delgado et al., 2018; Castro-Alayo et al., 2019).

A elevação da temperatura e a acidez durante a fermentação levam à morte do embrião da amêndoa de cacau. A morte do embrião permite que o processo de secagem posterior seja mais eficiente e evita que os componentes químicos da

amêndoa sejam redirecionados para o crescimento da planta, garantindo que permaneçam disponíveis para o desenvolvimento de sabor (Cortez et al., 2023).

A fermentação também ajuda a garantir uma uniformidade na qualidade das amêndoas, especialmente em processos industriais. O controle adequado da fermentação resulta em amêndoas de cacau com perfis de sabor consistentes, o que é essencial para a produção de chocolate em larga escala com qualidade padronizada. Quando o processo é bem conduzido, é possível obter um cacau com características sensoriais constantes (Efraim et al., 2010; Delgado et al., 2018).

A fermentação influencia diretamente a textura e a cor do chocolate final. As reações enzimáticas e químicas que ocorrem durante a fermentação afetam a degradação das paredes celulares e outros componentes das amêndoas, o que contribui para uma melhor textura e viscosidade durante a fabricação do chocolate. Além disso, o processo impacta a formação da cor marrom característica, que se intensifica durante a torrefação (Krysiak et al., 2013; Lima et al., 2022).

Durante a fermentação, compostos indesejáveis presentes nas amêndoas, como alguns taninos, são degradados ou modificados, reduzindo sabores desagradáveis. Isso é especialmente importante para a eliminação de sabores indesejáveis que seriam perceptíveis no chocolate proveniente de amêndoa não fermentada. A fermentação adequada confere à amêndoa de cacau, um perfil sensorial desejável, que inclui complexidade aromática, sabores equilibrados e suavidade. Esses atributos são valorizados tanto pela indústria quanto pelos consumidores, resultando em um produto de maior qualidade e valor de mercado, especialmente no caso de chocolates finos e/ou com qualidade superior, onde o sabor refinado e a origem são fatores importantes (Efraim et al., 2010; Delgado et al., 2018).

Portanto, a fermentação das sementes de cacau é fundamental para definir as características sensoriais do chocolate, garantindo não apenas seu sabor e aroma complexos, mas também sua textura, cor e qualidade global (Suazo; Davidov-Pardo; Arozarena, 2014; Delgado et al., 2018). Além disso, os resultados do processo de fermentação precisam estar alinhados com o conhecimento científico existente, enfatizando a necessidade de adaptar as práticas de fermentação ao tipo específico de amêndoa e ao processamento que se deseja (Guzmán-Alvarez; Márquez-Ramos, 2021).

A qualidade do grão de cacau depende de cada um dos seus processos de produção, desde as práticas agrícolas, região de origem e transporte até a indústria onde ocorre o seu processamento. A fermentação e a secagem constituem operações unitárias essenciais da fazenda, com fortes influências na qualidade final das amêndoas de cacau e de seus produtos derivados. Estudos recentes sobre o processo de secagem e os efeitos na qualidade, apontam para três questões principais: método, temperatura e duração da secagem. Variações desses parâmetros de secagem causam efeitos significativos no teor de umidade, cor da amêndoa, pH, ácidos graxos, polifenóis, metilxantinas, proteínas e compostos aromáticos que constituem parâmetros de qualidade excelentes (Kongor et al. 2016; Castellanos; Quintero; Carreno, 2018; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020).

Secagem

De acordo com Sinuhaji; Suherman e Hadiyanto, (2024) a secagem das amêndoas de cacau é a etapa subsequente à fermentação e desempenha um papel fundamental na preservação e na qualidade final das amêndoas para a produção de chocolate. Esse processo visa reduzir o teor de umidade das amêndoas, inibindo a atividade microbiológica e prevenindo o desenvolvimento de microrganismos ou a deterioração. Além disso, a secagem é importante para a estabilização química dos compostos desenvolvidos durante a fermentação, garantindo que as amêndoas sejam preparadas para o armazenamento e posterior torra. Segundo os autores acima citados, a secagem tem como objetivos:

- Diminuir o teor de água das amêndoas de cacau para aproximadamente 6-8%, o que impede a proliferação de microrganismos e a degradação dos compostos internos;
- Parar o processo de fermentação e estabilizar os compostos aromáticos e de sabor que se formaram durante a fermentação;
- Evitar a degradação excessiva de compostos bioativos, como os polifenóis e ácidos graxos, preservando os precursores de sabor e aroma.

Na primeira fase, ocorre a evaporação inicial de água (secagem rápida), em que a água presente nas camadas superficiais das amêndoas começa a evaporar rapidamente. A secagem geralmente é realizada ao sol, em plataformas, ou em secadores controlados, onde as amêndoas são espalhadas em camadas finas para

maximizar a exposição ao ar. Na sequência, ocorre a evaporação da água livre, onde a maior parte da água evaporada nesta fase é a água livre que está presente no exterior das amêndoas e nas camadas superficiais dos cotilédones. A taxa de evaporação é alta, pois a água encontra-se facilmente disponível. E por fim dessa etapa, ocorre o resfriamento evaporativo que se baseia em um resfriamento superficial das amêndoas devido à perda de calor latente de vaporização, o que mantém a temperatura das amêndoas relativamente baixa (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020).

Na segunda fase, ocorre a secagem interna (secagem lenta) que, após a evaporação da água superficial, a secagem se torna mais lenta, pois a água interna das amêndoas, que está dentro dos cotilédones e células, começa a migrar para a superfície para evaporar. Esse processo depende de gradientes de concentração de umidade. Também nessa fase ocorre a difusão da água interna, onde a água contida dentro das células do cotilédone começa a se mover através das membranas celulares e das paredes celulares, em direção à superfície. Esse movimento é mais lento, pois a água precisa atravessar as barreiras estruturais das células. E por fim, ocorre a desidratação celular que, conforme a água é retirada das células, ocorre a desidratação dos tecidos das amêndoas, o que leva à morte completa de células que ainda estão vivas após a fermentação (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020).

Na terceira fase, ocorre a oxidação de compostos bioativos, como os polifenóis (principalmente as catequinas e epicatequinas), que continuam a ser oxidados. Esse processo é uma continuação do que ocorre na fermentação, mas em menor intensidade devido à diminuição da atividade enzimática com a secagem. Em ambientes com maior exposição ao oxigênio (como a secagem ao sol), os polifenóis podem ser lentamente oxidados, o que influencia o sabor e a cor das amêndoas. Essa oxidação contribui para o desenvolvimento de compostos que reduzem a adstringência e o amargor. Além disso, a oxidação dos polifenóis pode gerar a formação de pigmentos marrons, o que pode contribuir para a coloração característica das amêndoas de cacau secas (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020).

Na quarta fase, ocorre a inativação de enzimas e interrupção da fermentação. Nessa fase, a secagem tem o efeito de interromper qualquer atividade

enzimática que ainda possa estar ocorrendo nas amêndoas após a fermentação. As temperaturas alcançadas durante a secagem ao sol (normalmente entre 40-50°C) são suficientes para inativar enzimas, como a polifenoloxidase e a peroxidase, que são responsáveis pela oxidação de compostos fenólicos. A polifenoloxidase (PPO) e outras enzimas oxidativas são inativadas à medida que a umidade cai e as temperaturas aumentam, o que estabiliza os compostos fenólicos e impede oxidações excessivas que poderiam prejudicar o sabor (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020; Lima et al., 2022).

Na quinta fase de secagem, ocorre a transformação e estabilização de lipídios (gorduras) das amêndoas de cacau, que começam a se reorganizar. Os lipídios compõem cerca de 50% do peso seco da amêndoa. A secagem estabiliza esses lipídios, evitando que eles se degradem em ácidos graxos livres que poderiam dar um sabor rançoso ao chocolate. A rápida secagem ao sol ou em secadores impede que os lipídios sejam expostos a oxidações que possam gerar compostos indesejados, como peróxidos lipídicos, que afetam a qualidade sensorial (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020; Lima et al., 2022).

Na última fase de secagem, ocorre o desenvolvimento de compostos voláteis e precursores de sabor. Embora o desenvolvimento inicial dos precursores de sabor ocorra na fermentação, a secagem ajuda a estabilizar esses compostos, especialmente os precursores aromáticos voláteis e os componentes que serão convertidos durante a torra. A combinação de calor e aeração ajuda a eliminar o excesso de ácido acético, que poderia resultar em um sabor ácido indesejável no chocolate. Parte do ácido acético residual gerado durante a fermentação é volatilizado e eliminado durante a secagem, o que reduz a acidez das amêndoas e melhora o perfil de sabor (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020; Lima et al., 2022).

Para garantir que as amêndoas de cacau sejam secas adequadamente e preserve a qualidade, é essencial que a secagem seja realizada em condições controladas. A temperatura não deve ultrapassar 50°C para evitar o cozimento prematuro das amêndoas e a degradação de compostos sensíveis ao calor, como os flavonoides. A umidade final das amêndoas deve ser reduzida a cerca de 6-8% para garantir a sua preservação (Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020).

A secagem adequada garante que as amêndoas possam ser armazenadas por longos períodos sem perder qualidade ou desenvolver microrganismos. A estabilização dos compostos voláteis e de sabor durante a secagem é crucial para a criação do perfil de sabor final do chocolate. A secagem também afeta a aparência das amêndoas e sua capacidade de serem processadas para a produção de chocolate. Assim, a secagem das amêndoas de cacau é um processo essencial que, além de preservar as amêndoas, ajuda a garantir que os precursores de sabor e aroma sejam corretamente estabilizados para que possam ser refinados nas etapas seguintes de processamento do chocolate (Efraim et al., 2010; Engelhardt; Da Silva Arrieche, 2016; Dzelagha; Ngwa; Nde Bup, 2020).

Torrefação ou Torra

A torrefação ou também chamada torra é um tratamento térmico fundamental na obtenção das características do chocolate. As reações que ocorrem nesta etapa dependem de fatores como tempo, temperatura, umidade, pH e concentração de precursores aromáticos. É também a operação principal do beneficiamento, pois as amêndoas perdem água e traços de ácido acético por evaporação (Rocha et al., 2017; Barišić et al., 2019).

No processamento tradicional, a torrefação é realizada numa torre pela qual o ar aquecido passa do fundo para o topo, enquanto as amêndoas secas são colocadas no alto da torre e vão caindo. O calor exerce efeito catalítico nos precursores de sabor presentes após a fermentação e secagem, principalmente pela reação de *Maillard* (Efraim et al., 2010; Sales; Cândida, 2016).

Além disso, ocorre o desenvolvimento da cor típica, redução de ácidos voláteis, inativação de enzimas que degradam a manteiga de cacau, redução do teor de água e mudança na textura dos cotilédones (Díaz et al., 2013).

As amêndoas são totalmente limpas e inspecionadas para posterior processamento. Os *nibs* são as amêndoas de cacau quebradas, em formas de fragmentos do cotilédone. Do ponto de vista tecnológico, a função de torrefação inclui a secagem complementar dos *nibs*, a remoção de compostos indesejáveis de sabor e desenvolvimento da cor e sabor final, além do desprendimento da casca. A temperatura de torrefação varia de 95 a 145°C. As condições de temperatura dependem da origem e variedade do cacau, tamanho dos *nibs*, equipamento,

processo usado e qualidade do produto final requerido. A exposição a alta temperatura reduz o número de micro-organismos para fornecer um produto com maior *shelf life* (Krysiak et al., 2013; Ioannone et al., 2015).

Trituração e Peneiramento

Essa etapa de trituração e peneiramento das amêndoas de cacau é um processo essencial na produção de chocolate, pois é nela que são obtidos os *nibs* que são pequenos pedaços da amêndoa, ricos em sabor e aroma característicos do cacau. Após a torrefação, as amêndoas de cacau são quebradas para separar os *nibs* das cascas. O termo “joeiramento” (*winnowing*) refere-se ao processo específico de separação das cascas dos *nibs* triturados, permitindo a obtenção de um produto de alta pureza para a produção de chocolate (Beckett; Fowler; Ziegler, 2017; Lima et al., 2024).

Primeiramente, as amêndoas torradas de cacau são quebradas em pedaços menores em máquinas específicas. Essa quebra libera os *nibs*, que são os pedaços triturados comestíveis da amêndoa. Durante a trituração, tanto as cascas quanto os *nibs* se fragmentam, mas as cascas se quebram em partículas mais leves e finas que os *nibs*, o que facilita sua separação posterior (Afoakwa, 2016).

Após a quebra ou trituração das amêndoas, estas passam por uma série de peneiras de tamanhos variados que retêm as partículas maiores (*nibs*) e permitem que as partículas menores (cascas) sejam separadas. Esse processo é chamado de peneiramento e é feito para garantir que apenas os *nibs* de tamanho adequado sejam enviados para o processo de joeramento. O joeramento é uma etapa que se concentra na separação das cascas dos *nibs*. Essa separação é importante, pois as cascas não são utilizadas na produção de chocolate e podem prejudicar a textura e o sabor do produto final (Akinnuli; Bekunmi; Osueke, 2015; Nguyen; Pham; Nguyen, 2019).

Para o processo de joeramento, utiliza-se equipamentos com corrente de ar ou vibração, que separam as cascas (mais leves) dos *nibs* (mais pesados). Nos equipamentos com corrente de ar, o processo baseia-se na diferença de peso e densidade, as partículas trituradas passam por uma corrente de ar controlada e as cascas, por serem mais leves, são removidas pelo fluxo de ar, enquanto que os *nibs* caem por gravidade. Já nos equipamentos com sistemas de vibração, os pedaços mais densos e pesados são separados das cascas por vibração que separam esses

materiais, garantindo que apenas os *nibs* permaneçam para a próxima etapa do processo (Akinnuli; Bekunmi; Osueke, 2015; Nguyen; Pham; Nguyen, 2019; Astuti et al., 2024).

Por fim, o processo de joeramento é essencial para garantir a qualidade dos *nibs*, pois remove partículas indesejadas, aumenta a pureza dos *nibs*, evita resíduos e impurezas no produto final (chocolate) (Beckett; Fowler; Ziegler, 2017; Lima et al., 2024).

Portanto, a trituração, peneiramento e o joeramento são etapas fundamentais na obtenção do *nibs* de cacau de alta qualidade. Esses processos garantem que os *nibs* utilizados na produção de chocolate sejam puros, livres de cascas e resíduos, proporcionando uma base adequada para a moagem e a obtenção do liquor de cacau, essencial para o desenvolvimento do sabor e da textura do chocolate (Akinnuli; Bekunmi; Osueke, 2015; Nguyen; Pham; Nguyen, 2019; Astuti et al., 2024).

Refino

O comportamento reológico do chocolate é um parâmetro de qualidade primordial e depende da composição dos ingredientes, distribuição de tamanho de partícula e das técnicas de processamento. Partículas com diâmetros maiores que 30 µm ocasionam sensação arenosa na boca, desta forma a diminuição das partículas é de extrema importância (Afoakwa et al., 2007; Mohos, 2010; Liu et al., 2015).

Os dois equipamentos tradicionais utilizados para a execução desta etapa são o moinho de esferas e refinadores de rolos. A diferença básica entre estes dois processos é a exposição das partículas às forças de moagem, nos rolos a quebra das partículas ocorre por pressão e cisalhamento entre os rolos, que operam em diferentes velocidades de rotação em diferentes espaçamentos. Enquanto no moinho de esferas, a moagem ocorre devido a exposição a pulsos de curto tempo e alto impacto induzidos pelos contatos das partículas com as esferas/paredes (Afoakwa et al., 2009).

O refino (ou redução do tamanho de partícula) também pode influenciar na viscosidade plástica e no limite de escoamento do chocolate, características reológicas que determinam a qualidade do produto (Luccas, 2001).

Os *nibs* são moídos e transformados em uma pasta, denominada massa ou liquor de cacau. O calor gerado por este processo faz com que a manteiga de

cacau dos *nibs* derreta e forme o liquor. Isso acontece quando a temperatura ultrapassa 34°C (Beg et al., 2017).

Alcalinização

No processamento de cacau pode-se tratar o liquor de cacau com uma solução alcalina tal como o carbonato de potássio ou sódio para reduzir a acidez. O processo de alcalinização faz com que o liquor obtenha um sabor mais suave e origine um chocolate mais escuro. Este processo pode ser incorporado em várias etapas de fabricação (Miller et al., 2008; Valverde Garcia et al., 2020).

Prensagem

A prensa hidráulica é usada para separar a manteiga de cacau do liquor (material não gorduroso particulado). A prensa hidráulica normalmente consiste em uma série de 14 recipientes/potes de pressão montados horizontalmente com filtro de metal em todos os recipientes/potes. O liquor a uma temperatura de 95-150°C é forçado para a prensa no início de cada ciclo. A pressão é aumentada para 5443 kg/m² para liberação da manteiga de cacau do liquor. As tortas resultantes dessa prensagem podem conter um teor de gordura de 10-24% dependendo da pressão aplicada, ajuste da prensa e tempo de prensagem. Este liquor de cacau triturado finamente pode ser armazenado em tanques ou pode ser fornecido as indústrias de chocolate para posterior processamento (Melo et al., 2022).

Produtos de Cacau

Muitos tipos de produtos de cacau podem ser obtidos através da fermentação e processamento das amêndoas de cacau. As amêndoas podem ser processadas em pasta fluida, ou sob a forma de liquor, a partir do qual é feito o chocolate, a manteiga de cacau e cacau em pó. O chocolate pode ser usado diretamente como barras sólidas para fins alimentícios e como matéria-prima para outros alimentos. O cacau em pó é também usado por confeitheiros e padeiros como cobertura para doces, biscoitos, bolos e como ingrediente na indústria de sorvetes e achocolatados (Franke, Heinzelmann, 2008; Beckett, 2009; Di Mattia et al., 2017).

Principais Produtos Derivados de Cacau

Liquor de Cacau

O liquor de cacau é uma massa pura de cacau na forma líquida, quando em temperaturas superiores à fusão da manteiga de cacau. É produzido a partir das amêndoas de cacau (*nibs*) através da geração de calor durante o processo de moagem para formar a massa de cacau (pasta de cacau), o qual libera calor para aumentar a temperatura acima de 34°C resultando o liquor. Esse liquor contém juntamente os sólidos de cacau e manteiga de cacau em proporções aproximadamente iguais. O cacau em pó é a matéria-prima básica para a fabricação do chocolate. O chocolate escuro ou também chamado de chocolate amargo é basicamente preparado com a mistura de açúcar, manteiga de cacau e liquor, enquanto que o leite em pó é adicionado ao chocolate ao leite. O liquor contém cerca de 50-55% de gordura, 12% de proteína, 0,1% de cafeína (Baah, Anchirinah, 2011; Pucciarelli, 2013; Araujo et al., 2016).

Estima-se que cerca de 65% de todo o cacau processado no mundo destina-se à prensagem da manteiga de cacau, que equivale a 45% do material prensado, sendo os 55% restantes compostos pela torta de cacau, que é a matéria-prima do cacau em pó. Os outros 35% são processados em liquor de cacau e quase integralmente utilizados diretamente para a produção de chocolate (Badrie et al., 2015; Beg et al., 2017).

Manteiga de Cacau

A manteiga de cacau é extraída da amêndoa de cacau como gordura vegetal comestível. É usada na fabricação de chocolates, pomadas, produtos de higiene pessoal, produtos farmacêuticos e cosméticos, tais como cremes hidratantes, sabonetes, etc. A manteiga de cacau contém cerca de 99,9% de gordura e é rica em ácido palmítico – C16:0 (26%), oleico – C18:1 (33%) e esteárico – C18:0 (36%) (Badrie et al., 2015; Beg et al., 2017).

A manteiga de cacau que é extraída do liquor por prensagem, é essencial para dar a textura e consistência desejadas ao chocolate. A proporção de gordura no liquor determina a quantidade de manteiga de cacau que pode ser extraída (Badrie et al., 2015; Beg et al., 2017).

A manteiga de cacau tem grande importância no perfil sensorial do chocolate. É responsável pelas características de fusão e dureza, que influenciam na estabilidade à temperatura ambiente (Efraim et al., 2013).

Cacau em Pó

A manteiga de cacau pode ser processada em pó de cacau a partir da massa de cacau pela aplicação de pressão de alta intensidade de 6.000 a 12.000 psi. O material residual contendo cerca de 10% a 12% de gordura é então moído para produzir o pó de cacau natural. Esse pó pode ser tratado com solução alcalina para melhorar algumas características como sabor e cor por um processo conhecido como alcalinização (Badrie et al., 2015; Beg et al., 2017).

O cacau em pó tem um papel vital como ingrediente em bebidas achocolatadas, sobremesas com sabor de chocolate, como mousse, sorvete, bolos de chocolate e biscoitos. Contém polissacarídeos estruturais, como celulose, hemicelulose e substâncias pectínicas. Também contém lignina estrutural não-carboidratada, polissacarídeos não estruturais, como gomas e mucilagens. Possui uma boa quantidade de flavonoides (que fornecem a formação de cor característica), cerca de 4% de ácidos orgânicos (ácido láctico e ácido acético) (Kwik-Urbe, 2012; Badrie et al., 2015; Beg et al., 2017).

O teor de potássio é de aproximadamente 2% e pode ser aumentado para 5% por alcalinização com carbonato de potássio. O pó de cacau com diferentes gostos e cores tornou-se amplamente utilizado como ingrediente de sabor e cor na indústria alimentícia (Baah, Anchirinah, 2011; Dand, 2011; Vega, Kwik-Urbe, 2012; Beg et al., 2017).

Usos Medicinais

Por muito tempo, o chocolate e o cacau têm sido usados como tratamento em grande variedade de problemas, como auxílio para os pacientes magros aumentar o peso, estimular o sistema nervoso de pessoas fracas e melhorar a digestão e a função renal. Médicos tradicionais chamados "curanderos" ofereciam bebidas de chocolate para curar a bronquite em Oaxaca, México e bebida de Chocolate também era dada às crianças para afastar picadas de escorpiões ou abelhas (Cooper et al., 2008, Corti et al., 2009, Vega, Kwik-Urbe, 2012; Badrie et al., 2015).

Na República Dominicana, as bebidas de chocolate ainda são usadas para tratar vários tipos de doenças, desde dores de garganta até anemia, doenças gastrointestinais e excesso de trabalho cerebral. Verificou-se que os índios Kuna do Panamá bebem cinco ou mais xícaras de chocolate por dia para evitar a incidência de doenças cardíacas e câncer. Eles também usam a fumaça de grãos de cacau e vagens de pimenta para curar malária e doenças semelhantes (Dand, 2011; Vega, Kwik-Urbe, 2012; Pucciarelli, 2013).

Chocolate

Segundo a legislação brasileira (RDC nº 723), o chocolate é o “produto obtido a partir da mistura de derivados de cacau (*Theobroma cacao* L.), massa, pasta ou liquor de cacau, cacau em pó ou manteiga de cacau, com outros ingredientes, podendo apresentar recheio, cobertura, formato e consistência variados”. Ainda, de acordo com a RDC nº 723 no Art. 5º, “o chocolate deve ser constituído de, no mínimo, 25% (vinte e cinco por cento) de sólidos totais de cacau” (Brasil, 2022).

O chocolate é sólido à temperatura ambiente (20 a 25°C), é facilmente manuseado e derrete logo abaixo da temperatura corporal (36,5°C). Desse modo, este produto libera seus sabores de maneira ideal quando ingerido (Cohen et al., 2004; Baah, Anchirinah, 2011; Dand, 2011; Vega, Kwik-Urbe, 2012).

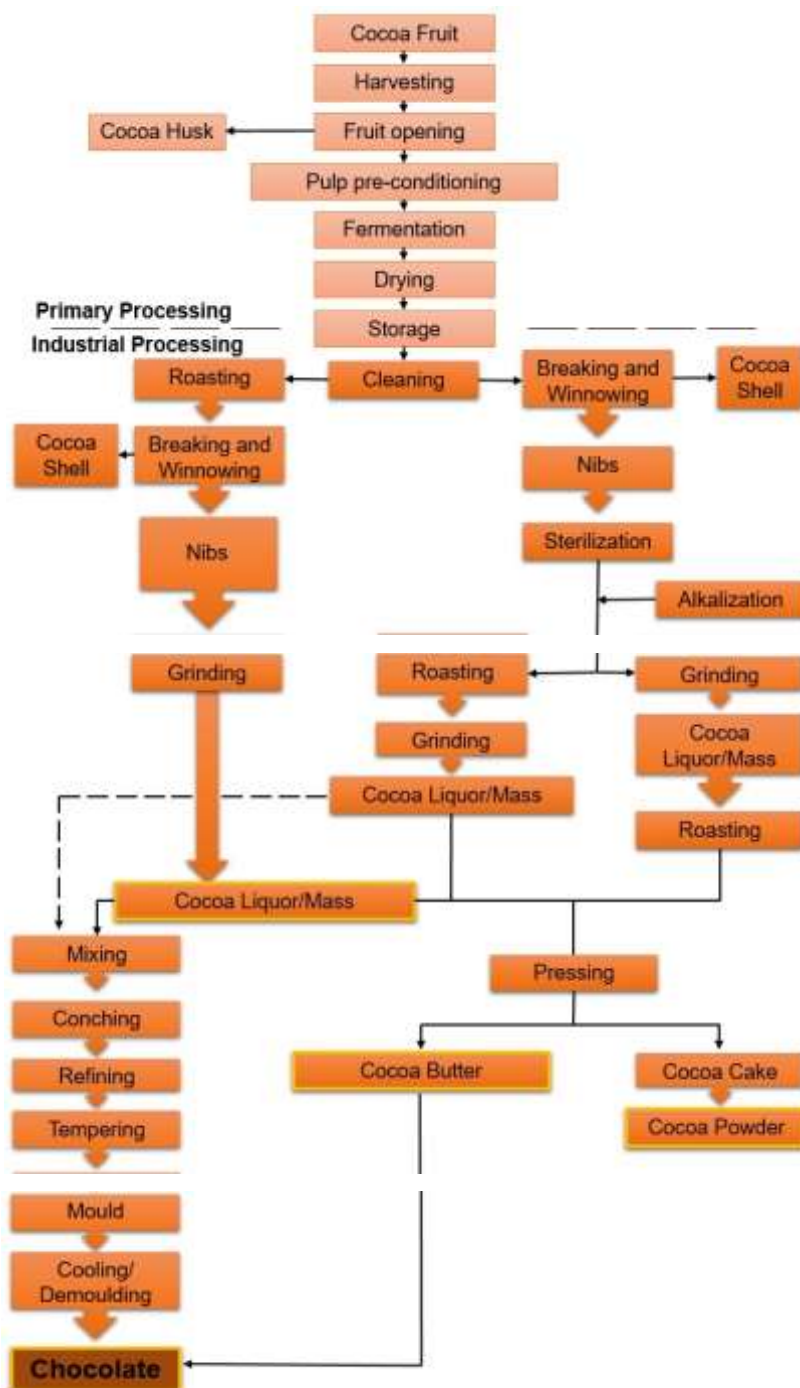
Processamento do Chocolate

A Figura 2 representa o diagrama com as etapas do processamento do grão/semente do cacau até a obtenção do chocolate.

Adição dos Ingredientes e Mistura

Os ingredientes são adicionados em tanques encamisados a 40°C e misturados com o objetivo de realizar a homogeneização dos ingredientes em pó (açúcar e leite em pó) com os ingredientes líquidos (manteiga de cacau e liquor de cacau fundidos), por tempo suficiente para se transformarem em uma massa plástica adequada para a próxima etapa (Beckett, 2009).

Figura 2 – Diagrama esquemático do processamento de grãos/sementes de cacau e produção de chocolate.



Fonte: Adaptado de Goya; Kongor; De Pascual-Teresa, 2022.

Refino

O refino garante que as partículas de cacau sólido, o açúcar e qualquer sólido do leite sejam quebradas, de modo que se tornem suficientemente pequenas para não serem percebidas pela cavidade oral (Hinneht et al., 2019).

O método mais comum de obtenção deste requisito é pela utilização de um refinador com cinco rolos (Beckett, 2009).

Segundo Luccas (2001), o tamanho das partículas da massa refinada deve ficar entre 20-25 μm , uma vez que tamanhos maiores que 25 μm proporcionam areosidade na boca ao degustar o chocolate, e tamanhos inferiores a 20 μm podem causar problemas tecnológicos, ao proporcionar aumento da viscosidade e do limite de escoamento, dificultando processos posteriores de transporte, dosagem e recobrimento.

Conchagem

O processo de conchagem é uma etapa determinante para o desenvolvimento das características únicas do chocolate, como aroma, sabor e textura. A conchagem constitui a última etapa de importância na formação do sabor característico e desejável do chocolate e envolve a redução da umidade, a volatilização dos ácidos orgânicos de cadeia curta e aldeídos, o desenvolvimento da textura uniforme e a mudança da cor devido à emulsificação e oxidação de taninos (Ziegleder, 2017; Guckenbiehl et al., 2022).

A volatilização reduz o amargor e desenvolve o sabor do chocolate. As partículas sólidas, tais como o açúcar e o cacau são revestidas com gordura. Este envolvimento das partículas sólidas pela gordura, associado ao cisalhamento e à movimentação da massa de chocolate, contribuem para a textura que também exerce grande influência no sabor global do chocolate. Além disso, ocorre a formação de compostos por meio da reação de *Maillard* (Prawira; Barringer, 2009; Ziegleder, 2017; Guckenbiehl et al., 2022).

Para a realização da conchagem adequada são necessários o cisalhamento, a agitação e o aquecimento da massa entre 50 e 70°C, dependendo do tipo de chocolate desejado (ao leite, branco ou amargo). Esta etapa pode levar de 8 a 96 horas, dependendo do tipo de produto que se deseja e do equipamento utilizado (Afoakwa et al., 2007).

Na fabricação de chocolate, o tempo do processo de conchagem reduz consideravelmente a concentração dos compostos que podem contribuir de forma negativa para o aroma e sabor do chocolate (Badrie et al., 2015; Kongor et al., 2016; Taş, Gökmen, 2016; Wollgarten et al., 2016).

Guckenbiehl et al. (2022) observaram em seu estudo que o ácido acético foi o composto que mais diminuiu (60%) durante o processo de conchagem (0-6h), seguido pelo composto 2,3,5,6-tetramethylpyrazine (TMP) que diminuiu sua concentração em 54%.

O ácido acético é gerado particularmente durante a fermentação do grão de cacau e exibe alta importância para o sabor e aromado cacau em pó, assim como a maior concentração no chocolate amargo e grãos de cacau não torrados. Sabe-se que aproximadamente 70% do ácido acético do cacau é removido pela torrefação do grão e a quantidade restante é reduzida pela conchagem (Liu et al., 2015; Chetschik et al., 2019; Dulce et al., 2021; Balcázar-Zumaeta et al., 2023).

O composto 2,3,5,6-tetramethylpyrazine (TMP) está associado a notas de sabor torrado, verde e café-com-leite e mostra-se ser um importante composto de aroma ativo no chocolate ao leite. O TMP é formado não apenas pela reação de *Maillard*, mas também durante a fermentação e, portanto, como várias outras pirazinas, está presente antes da torrefação (Liu et al., 2015; Guckenbiehl et al., 2022).

Atualmente, as conchas rotativas são o padrão da indústria, com tendência em predominar na produção em massa devido à sua eficiência no desenvolvimento do sabor e fluidez do chocolate (Beckett; Paggios; Roberts, 2017; Meck, 2018).

As conchas consistem em recipientes encamisados, com pás no seu interior em forma de cunha, conectadas a eixos horizontais rotativos que misturam vigorosamente e cisalham a massa de chocolate por várias horas (Beckett, 2019).

No processo de conchagem, os compostos de açúcar e liquor de cacau alteram seu estado sólido para um estado mais derretido homogêneo e fluido. As alterações de textura nesse processo são provavelmente ocasionadas pela desaglomeração das partículas sólidas que envolvem a manteiga de cacau. A mistura intensa, alto cisalhamento, fricção e o aumento da temperatura provocam o desprendimento da manteiga de cacau, que posteriormente revestirá as partículas sólidas (Ziegleder, 2017; Guckenbiehl et al., 2022).

A conchagem pode ser dividida em três fases, denominadas de fase seca, plástica e líquida. Na fase seca, ocorre a desaglomeração dos aglomerados de partículas formados na etapa de refino (Ziegler e Hogg, 2017). As fases plástica e líquida são caracterizadas pela adição do restante da manteiga de cacau e do emulsificante, respectivamente, a fim de recobrir as partículas sólidas e melhorar as propriedades reológicas, o suficiente para resultar em um produto fluido com menor viscosidade para o processo seguinte (Danzl e Ziegleder, 2014; Beckett; Paggios; Roberts, 2017).

Temperagem, Moldagem e Resfriamento

Devido à natureza polimórfica da manteiga de cacau, o chocolate deve ser temperado ou pré-cristalizado. A temperagem consiste em uma técnica de pré-cristalização controlada, necessária para induzir a formação de cristais estáveis (do tipo β) na manteiga de cacau. Esta técnica envolve a redução da temperatura do chocolate sob constante agitação para induzir à cristalização de ambas as formas polimorfas (estáveis e instáveis) (Efraim et al., 2013; Badrie et al., 2015; Beg et al., 2017).

Em seguida, realiza-se um reaquecimento para que somente as formas cristalinas instáveis sejam fundidas. Este reaquecimento influencia positivamente na fluidez da massa, facilitando as etapas posteriores de moldagem ou recobrimento (Cohen et al., 2004; Augusto; Bolini, 2022).

A forma cristalina I ou γ , também conhecida como sub α , é a menos estável e de menor ponto de fusão. É a primeira forma cristalina que se forma quando a gordura é submetida a um rápido resfriamento até baixas temperaturas. Com reaquecimento lento, a forma cristalina transforma-se para a forma V, passando antes pelas formas II, III e IV. As formas V e VI são as mais estáveis da manteiga de cacau. A forma V, um polimorfo β , mais importante e encontrado em chocolate temperado corretamente, proporciona uma aparência brilhante, *snap* adequado, contração e resistência ao *fat bloom* (Beckett; Paggios; Roberts, 2017).

Durante o armazenamento esta forma pode se transformar lentamente na forma β VI, mais estável, onde esta formação mais lenta, e pode vir acompanhada de *fat bloom*, com derretimento em temperatura de 34° a 36°C, produzindo cristais

grandes e arenosos na língua (Schenk, Peschar, 2004; Silva; Grimaldi; Gonçalves, 2017; Augusto; Bolini, 2022).

A etapa de Temperagem ou pré-cristalização, responsável pela cristalização de cerca de 2 a 4% de cristais da manteiga de cacau é capaz de gerar características como brilho; contração do volume, facilitando a desmoldagem; dureza e quebra à temperatura ambiente; rápida e completa fusão na boca e rápido desprendimento de aroma e sabor na degustação (Luccas, 2001; Cohen et al., 2004).

Primeiramente, a massa de chocolate é aquecida para completa fusão dos cristais de gordura em temperaturas próximas a 45°C. Em seguida, é realizado o resfriamento, de forma controlada e sob agitação, para induzir a cristalização da gordura, removendo o calor sensível e formando os cristais instáveis e estáveis. A taxa de resfriamento deve ser próxima de 2°C/min até a temperatura de aproximadamente 27°C, de acordo com o tipo de chocolate, já que quanto maior a razão da gordura de leite para a manteiga de cacau, menor é a temperatura. Por fim, realiza-se o reaquecimento da massa para fusão dos cristais instáveis, ao redor de 30-32°C (Beckett; Paggios; Roberts, 2017).

Para a moldagem de chocolates em barra, o chocolate temperado é depositado dentro de moldes, que são então vibrados para assegurar a distribuição uniforme do chocolate e liberar as bolhas de ar. Após, o chocolate é resfriado, de preferência em túneis de resfriamento com temperatura e tempo controlados de acordo com o tipo de chocolate produzido, e, então, ocorre a solidificação do produto, sua retirada dos moldes, embalagem e o armazenamento (Gutiérrez, 2017; Schomaker et al., 2020).

O objetivo da etapa de resfriamento é continuar a cristalização da manteiga de cacau na forma β . Esta forma é associada a altos níveis de brilho e bons resultados de contração, que leva a boas características para a retirada das formas (Subramaniam; Murphy, 2001).

A temperatura do ar utilizado em túneis de resfriamento durante a fabricação de chocolate é geralmente 10-15°C, sendo que a menor temperatura deve ser no centro do túnel para remover o calor de cristalização, e as maiores temperaturas na entrada e saída do túnel para, respectivamente, permitir a continuidade do crescimento dos cristais do tipo β (cristalização em velocidade moderada) e evitar a condensação de umidade na superfície do chocolate. Em média,

é necessária uma redução de 10°C na temperatura do chocolate para a cristalização (Keijbets et al., 2010; Gutiérrez, 2017).

Benefícios do Consumo de Chocolate para a Saúde

O cacau é um ingrediente usado na produção de chocolate e é muito rico em substâncias com propriedades antioxidantes, como flavonoides, catequinas, epicatequinas e procianidinas. Tais substâncias têm atraído muita atenção, por serem compostos que inibem ou retardam os processos oxidativos no organismo, causados pelo excesso de radicais livres, devido ao estilo de vida e situações patológicas (Loffredo et al., 2017; Loffredo et al., 2018; Andrade et al., 2021).

Existe uma relação entre o consumo destes compostos e possíveis implicações benéficas à saúde humana, particularmente em relação a alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares e outras doenças crônicas (Afoakwa, 2016). Pesquisas indicam que os flavonoides encontrados no cacau podem diminuir a oxidação da Lipoproteína de Baixa Densidade (LDL), além de reduzir a pressão sanguínea (Ishaq; Jafri, 2017; Loffredo et al., 2017).

O chocolate amargo é capaz de melhorar a função endotelial em pacientes com esteato-hepatite não alcoólica (NASH). Os polifenóis do cacau melhoram a função endotelial através da regulação negativa de biodisponibilidade de óxido nítrico (Loffredo et al., 2018).

Outras pesquisas têm demonstrado também a influência do cacau no sistema imunológico. Tzounis et al. (2011) demonstraram que o consumo diário de uma bebida com alto teor de cacau durante 4 semanas modificou a composição da microbiota e resposta imune a nível intestinal, aumentando significativamente as populações de bifidobactérias ($p < 0,01$) e lactobacilos ($p < 0,001$).

Bebidas à base de chocolate aumentam os níveis gerais de vitamina D e cálcio em seres humanos. Além disso, fortalece o sistema imunológico aumentando os níveis de IFN- γ . A bebida achocolatada também aumenta o Índice de Massa Corporal (IMC), o que pode prevenir a desnutrição (Taslim et al., 2020).

Abril-Gil et al. (2012) verificaram em um estudo a importância do consumo dos flavonoides do cacau no tratamento de alergias. Nesta pesquisa, ratos induzidos à alergia receberam uma dieta de cacau (contendo 0,2% de polifenóis, p/p) ou uma dieta padrão. Os animais alimentados com uma dieta padrão apresentaram

concentrações elevadas de IgG1, IgG2a, IgG2b anti-OVA e concentrações elevadas de IgE anti-OVA, que são anticorpos envolvidos na resposta alérgica. Em contraste, os animais alimentados com uma dieta rica em cacau apresentaram concentrações significativamente mais baixas de anticorpos anti-OVA IgG1 e IgG2a.

Efeitos neuroprotetores do cacau foram revistos por Nehlig (2013) em um estudo que indicou que a ingestão de flavonoides do consumo de cacau ou seus derivados pode ter um potencial terapêutico para a doença de Alzheimer por promoverem angiogênese no tecido cerebral e prevenir a apoptose neuronal.

Chocolates com alto teor de cacau possuem em sua composição o neurotransmissor serotonina, além do seu precursor, denominado triptofano (Guillén-Casla et al., 2012). Por ser capaz de aumentar a produção deste neurotransmissor, o chocolate é um alimento capaz de ativar os centros do bem-estar no cérebro humano, combatendo os sintomas de estresse (Latif, 2013). O consumo de chocolate pode desempenhar também um papel na prevenção de hiperglicemia, resistência à insulina e obesidade. No estudo de Min et al. (2013) animais alimentados durante 5 semanas com dieta rica em gordura e extrato de polifenóis do cacau tiveram menor acúmulo de lipídeos e maior regulação do receptor de insulina.

Além de todos os efeitos benéficos citados anteriormente, o chocolate é considerado um alimento com boa qualidade nutricional. Isto porque o cacau presente em sua formulação contém vários minerais essenciais, incluindo magnésio, cobre, manganês, potássio, cálcio, ferro, fósforo e zinco, que desempenham papéis importantes na fisiologia do corpo humano. Além disso, o cacau também contém vitamina A e E, além de algumas vitaminas do complexo B (tiamina, riboflavina e niacina) (Melo et al., 2020).

A manteiga de cacau também apresenta efeitos benéficos para a saúde. Essa manteiga é uma gordura natural extraída das amêndoas do cacau (*Theobroma cacao* L.) e amplamente utilizada na indústria alimentícia e cosmética. Sua composição lipídica é predominantemente formada por três ácidos graxos: ácido oleico (monoinsaturado), ácido esteárico e ácido palmítico (saturados). Estudos indicam que a manteiga de cacau apresenta um perfil lipídico mais saudável do que outras gorduras saturadas de origem vegetal e animal (Santos et al., 2013; Hilakarathna et al., 2024; Mohammad Ridwan; Mamat; Haque Akanda, 2023; Mokbul; Cheow; Siow, 2023; Barros Kobi et al., 2024).

O ácido oleico (C18:1, ômega-9), que representa aproximadamente 36% da composição da manteiga de cacau, é um ácido graxo monoinsaturado associado a diversos benefícios cardiovasculares. Ele auxilia na redução do colesterol LDL (colesterol "ruim") e no aumento do colesterol HDL (colesterol "bom"), além de possuir propriedades anti-inflamatórias e antioxidantes. Seu consumo está relacionado à melhora da saúde cardiovascular, semelhante ao efeito do azeite de oliva (Santos et al., 2013; Pappiani, 2016; Figueira, 2021).

O ácido esteárico (C18:0), responsável por cerca de 33% da gordura da manteiga de cacau, é um ácido graxo saturado, mas diferentemente de outros ácidos graxos saturados (como o ácido palmítico e láurico), ele apresenta um efeito neutro sobre os níveis de colesterol. Estudos indicam que o ácido esteárico não contribui para o aumento do LDL e pode ser convertido pelo organismo em ácido oleico, reduzindo impactos negativos à saúde cardiovascular (Santos et al., 2013; Pappiani, 2016; Figueira, 2021).

Comparada a outras gorduras saturadas, a manteiga de cacau não contém quantidades significativas de ácidos graxos trans, o que a torna uma alternativa mais saudável para aplicações industriais, como na fabricação de chocolates e produtos de confeitaria. Além disso, sua composição equilibrada de ácidos graxos reduz o risco de doenças cardiovasculares em comparação a outras fontes lipídicas com alta proporção de ácidos graxos saturados prejudiciais (Santos et al., 2013; Pappiani, 2016; Figueira, 2021).

Considerações Finais

Desde a antiguidade, o chocolate é considerado um alimento de elevado valor nutritivo e energético. Os seus três ingredientes principais, cacau, leite e açúcar, levam-no a ser considerado como um alimento balanceado, devido ao teor de proteínas, carboidratos, lipídios, sais minerais e vitaminas.

Os grãos de cacau são objetos de diversas pesquisas científicas, devido aos seus potenciais benefícios para a saúde cardiovascular, antioxidante e na ajuda no equilíbrio do colesterol. Essas propriedades pró-saúde se devem à presença de compostos fenólicos como epicatequinas, polifenóis e antocianinas, que muitas vezes são responsáveis pelos sabores amargos e adstringentes no chocolate. Com isso, o

chocolate é considerado uma grande fonte de consumo destes compostos, contribuindo significativamente na ingestão desses nutrientes.

Destaca-se ainda, uma relação positiva e benéfica do consumo de chocolate e a prevenção ou atuação contra alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares e o sistema imunológico. Com isso, o cacau e o chocolate são alimentos importantes para o consumo e ingestão de compostos que trazem diversos benefícios para a saúde.

Referências

- ABRIL-GIL, M.; MASSOT-CLADERA, M.; PÉREZ-CANO, F. J.; CASTELLOTE, C.; FRANCH, À.; CASTELL, M. A diet enriched with cocoa prevents IgE synthesis in a rat allergy model. *Pharmacological Research*, v. 65, n. 6, p. 603-608, 2012.
- AFOAKWA, E. O. *Chocolate science and technology*. John Wiley & Sons, 2016.
- AFOAKWA, E. O. *Cocoa production and processing technology*. CRC Press, 2014.
- AFOAKWA, E. O.; PATERSON, A.; FOWLER, M. Factors influencing rheological and textural qualities in chocolate—a review. *Trends in Food Science & Technology*, v. 18, n. 6, p. 290-298, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2007.02.002>
- AFOAKWA, E. O.; PATERSON, A.; FOWLER, M.; VIEIRA, J. Microstructure and mechanical properties related to particle size distribution and composition in dark chocolate, *Int. J. Food Sci. Technol.* 44. 2009. 111–119, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01677.x>
- AKINNULI, B.; BEKUNMI, O.; OSUEKE, C. Design concepts towards cocoa winnowing mechanization for nibs production in manufacturing industries. *British Journal of Applied Science & Technology*, v. 8, n. 1, p. 35-45, 2015. DOI: <https://doi.org/10.9734/BJAST/2015/16161>
- AMAYA, L. Y. C.; PABÓN, L. C. O. Chocolate: más que un dulce. *Revista Convicciones*, v. 4, n. 7, p. 117-127, 2017.
- ANDRADE, A. B.; CRUZ, M. L.; OLIVEIRA, F. A. S.; SOARES, S. E.; DRUZIAN, J. I.; SANTANA, L. R. R.; SOUZA, C. O.; BISPO, E. S. Influence of under-fermented cocoa mass in chocolate production: Sensory acceptance and volatile profile characterization during the processing. *LWT*, v. 149, p. 112048, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112048>
- ARAUJO, Q. R. D.; GATTWARD, J. N.; ALMOOSAWI, S.; PARADA COSTA SILVA, M. D. G. C.; DANTAS, P. A. D. S.; ARAUJO JÚNIOR, Q. R. D. Cocoa and human health: From head to foot—A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 56, n. 1, p. 1-12, 2016.

ARULMARI, R.; VISVANATHAN, R. Effect of Fermentation Methods and Turning Interval on the Quality of Cocoa Beans (*Theobroma cacao*). *Agricultural Research*, p. 1-13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40003-024-00715-9>

ASTUTI, A. et al. The optimization of cocoa processing on small and medium enterprises in South Sulawesi. In: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1063/5.0183918>

AUGUSTO, P. P. C.; BOLINI, H. M. A. The role of conching in chocolate flavor development: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 21, n. 4, p. 3274-3296, 2022.

BAAH, F.; ANCHIRINAH, V. A review of Cocoa Research Institute of Ghana extension activities and the management of cocoa pests and diseases in Ghana. *American Journal of Social and Management Sciences*, v. 2, n. 1, p. 196-201, 2011.

BADRIE, N.; BEKELE, F.; SIKORA, E.; SIKORA, M. Cocoa agronomy, quality, nutritional, and health aspects. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 55, n. 5, p. 620-659, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.669428>

BALCÁZAR-ZUMAETA, C. R. et al. Metabolomics during the spontaneous fermentation in cocoa (*Theobroma cacao* L.): An exploraty review. *Food Research International*, v. 163, p. 112190, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112190>

BARIŠIĆ, V.; KOPJAR, M.; JOZINOVIĆ, A.; FLANJAK, I.; AČKAR, Đ.; MILIČEVIĆ, B.; ŠUBARIĆ, D.; JOKIĆ, S.; BABIĆ, J. The chemistry behind chocolate production. *Molecules*, v. 24, n. 17, p. 3163, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24173163>

BARROS KOBİ, Hélia et al. Metabolic profile of fatty acids, phenolic compounds, and methylxanthines of cocoa kernels (*Theobroma cacao* L.) from different cultivars produced in cabruca and full sun farming systems. *Food Research International*, v. 197, p. 115198, 2024.

BASTOS, V. S. et al. Analysis of the cocobiota and metabolites of *Moniliophthora perniciosa*-resistant *Theobroma cacao* beans during spontaneous fermentation in southern Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 98, n. 13, p. 4963-4970, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9029>

BATALHA, P. G. Caracterização do cacau catongo de São Tomé e Príncipe. 2009. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnica de Lisboa (Portugal).

BECKETT, S. T. Chocolate flow properties. *Industrial chocolate manufacture and use*, p. 224-246, 2009.

BECKETT, S. T. Liquid chocolate making. In BECKETT S.T. (Ed.), *The science of chocolate* (3rd ed., pp. 65–84). Royal Society of Chemistry, 2019.

BECKETT, S. T.; FOWLER, M. S.; ZIEGLER, G. R. (Ed.). *Beckett's industrial chocolate manufacture and use*. John Wiley & Sons, 2017.

https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=x_AaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA24&dq=beckett+chocolate&ots=un-LSVXVIN&sig=xEngPmGAhGIJuOger14kprA33EU#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false

BECKETT, S. T.; PAGGIOS, K.; ROBERTS, I. Conching. In S. T. Beckett, M. Fowler, G. R. Ziegler (Eds.), *Beckett's industrial chocolate manufacture and use* (5th ed., pp. 241–273). John Wiley & Sons, Ltd. 2017.

BEG, M. S., AHMAD, S., JAN, K., BASHIR, K. Status, supply chain and processing of cocoa-A review. *Trends in food science & technology*, v. 66, p. 108-116, 2017. 10.1016/j.tifs.2017.06.007.

BERTAZZO, A., COMAI, S., MANGIARINI, F., CHEN, S. Composition of cacao beans. In: *Chocolate in health and nutrition*. Humana Press, Totowa, NJ, 2013. p. 105-117. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-803-0_8

BORGES, A. V. et. al. *Cacau no Estado de São Paulo: implantação e manejo em diferentes modelos de cultivo*, Campinas, CATI. 96p. Ilus. 230 cm (Documento Técnico). 2022. Disponível em: https://www.cati.sp.gov.br/portal/themes/unify/arquivos/produtos-e-servicos/acervo-tecnico/DT129CacauSPONLINE14_12_2022_c.pdf

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC nº 723, de 1º de julho de 2022. Dispõe sobre os requisitos sanitários do açúcar, açúcar líquido invertido, açúcar de confeitaria, adoçante de mesa, bala, bombom, cacau em pó, cacau solúvel, chocolate, chocolate branco, goma de mascar, manteiga de cacau, massa de cacau, melaço, melado e rapadura. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 6 de julho de 2022. Disponível em: https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/2718376/RDC_723_2022_.pdf/7284c430-ea3e-462b-a309-5987857018f9

CASTELLANOS, J. M.; QUINTERO, C. S.; CARRENO, R. Changes on chemical composition of cocoa beans due to combined convection and infrared radiation on a rotary dryer. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, 2018. p. 012011. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/437/1/012011>

CASTRO-ALAYO, E. M.; IDROGO-VÁSQUEZ, G.; SICHE, R.; CARDENAS-TORO, F. P. Formation of aromatic compounds precursors during fermentation of Criollo and Forastero cocoa. *Heliyon*, v. 5, n. 1, p. e01157, 2019.

CHETSCHIK, I.; PEDAN, V.; CHATELAIN, K.; KNEUBÜHL, M.; HÜHN, T. Characterization of the flavor properties of dark chocolates produced by a novel technological Approach and Comparison with Traditionally Produced Dark Chocolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, 2019. pp. 3991-4001. 10.1021/acs.jafc.8b06800

CHÉVEZ-VERA, H. D.; MIRANDA-SUÁREZ, P. R.; ROSALES, L. M. Á.; MENDOZA-ZAMBRANO, M. K.; ZAMBRANO-ESTRADA, A. M.; MARÍN-ÁLVAREZ, L. S. El chocolate: Orígenes, tecnología actual y producción de antioxidantes benéficos para

la salud. Ciencia y Tecnología. 2021. 14(1): 45-53. Doi: <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.458>

COHEN, K. O.; LUCCAS, V.; JACKIX, M. N. H. Revisão: temperagem ou pré-cristalização do chocolate. 2004.

COOPER, K. A., DONOVAN, J. L., WATERHOUSE, A. L., WILLIAMSON, G. Cocoa and health: a decade of research. *British Journal of Nutrition*, v. 99, n. 1, p. 1-11, 2008.

CORTEZ, D. et al. Changes in bioactive compounds during fermentation of cocoa (*Theobroma cacao*) harvested in Amazonas-Peru. *Current Research in Food Science*, v. 6, p. 100494, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100494>

CORTEZ, D. et al. From the seed to the cocoa liquor: Traceability of bioactive compounds during the postharvest process of cocoa in Amazonas-Peru. *Microchemical Journal*, v. 201, p. 110607, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.110607>

CORTI, R., FLAMMER, A. J., HOLLENBERG, N. K., LÜSCHER, T. F. Cocoa and cardiovascular health. *Circulation*, v. 119, n. 10, p. 1433-1441, 2009.

DAND, R. 2-Agronomics of international cocoa production. *The international cocoa trade*, v. 3, p. 647, 2011.

DAND, R. History and origins of the international cocoa trade. *The International Cocoa Trade*, p. 1-22, 2011.

DANZL, W.; ZIEGLEDER, G. Chocolate conching: Aroma improvement by a changed flavour distribution. *New Food*, 17. 2014. pp. 60-66.

DE SOUZA SANTANA, C. et al. Influência do período de colheita na qualidade do cacau da Indicação Geográfica Sul da Bahia. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 2, p. 8295-8306, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-221>

DE VUYST, L.; LEROY, F. Functional role of yeasts, lactic acid bacteria and acetic acid bacteria in cocoa fermentation processes. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 44, n. 4, p. 432-453, 2020. DOI: 10.1093/femsre/fuaa014

DE VUYST, L.; WECKX, S. The cocoa bean fermentation process: from ecosystem analysis to starter culture development. *Journal of Applied Microbiology*, v. 121, n. 1, p. 5-17, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.13045>

DELGADO, J. D., MANDUJANO, J. I., REÁTEGUI, D., ORDOÑEZ, E. S. Desarrollo de chocolate oscuro con nibs de cacao fermentado y no fermentado: polifenoles totales, antocianinas, capacidad antioxidante y evaluación sensorial. *Scientia Agropecuaria*, v. 9, n. 4, p. 543-550, 2018. DOI: <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.04.10>

DENYER, D.; TRANFIELD, D. Producing a systematic review. In D. A. Buchanan & A. Bryman (Eds.), *The Sage handbook of organizational research methods* (pp. 671–689). Sage Publications Ltd. 2009. Disponível em: <https://psycnet.apa.org/record/2010-00924-039>

DEUS, V. L. et al. Understanding amino acids and bioactive amines changes during on-farm cocoa fermentation. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 97, p. 103776, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103776>

DEWANDARI, K. T.; RAHMAWATI, R.; MUNARSO, S. J. The effect of techniques and fermentation time on cocoa beans quality (*Theobroma cacao* L.). In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. p. 012046. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012046>

DI MATTIA, C. D. et al. From cocoa to chocolate: The impact of processing on in vitro antioxidant activity and the effects of chocolate on antioxidant markers in vivo. *Frontiers in Immunology*, v. 8, p. 1207, 2017.

DÍAZ-MUÑOZ, C. et al. An in-depth multiphasic analysis of the chocolate production chain, from bean to bar, demonstrates the superiority of *Saccharomyces cerevisiae* over *Hanseniaspora opuntiae* as functional starter culture during cocoa fermentation. *Food Microbiology*, v. 109, p. 104115, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2022.104115>

DÍAZ-MUÑOZ, C.; DE VUYST, L. Functional yeast starter cultures for cocoa fermentation. *Journal of Applied Microbiology*, v. 133, n. 1, p. 39-66, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15312>

DILLINGER, T.L.; BARRIGA, P.; ESCÁRCEGA, S.; JIMENEZ, M.; SALAZAR LOWE, D.; GRIVETTI, L.E. Food of the Gods: Cure for Humanity? A Cultural History of the Medicinal and Ritual Use of Chocolate, *The Journal of Nutrition*, Volume 130, Issue 8, August 2000, Pages 2057S–2072S, <https://doi.org/10.1093/jn/130.8.2057S>

DOMÍNGUEZ-PÉREZ, L. A. et al. Artisanal cocoa bean fermentation: From cocoa bean proteins to bioactive peptides with potential health benefits. *Journal of Functional Foods*, v. 73, p. 104134, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104134>

DOS SANTOS, F. C. G.; DE ARAÚJO KALID, R. Prospeção tecnológica: um estudo das tecnologias aplicada ao beneficiamento e derivados do cacau. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 3, p. e56932354-e56932354, 2020. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i3.2354>

DULCE, V. R. et al. Cocoa bean turning as a method for redirecting the aroma compound profile in artisanal cocoa fermentation. *Heliyon*, v. 7, n. 8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07694>

DZELAGHA, B. F.; NGWA, N. M.; NDE BUP, D. A review of cocoa drying technologies and the effect on bean quality parameters. *International journal of food science*, v. 2020, n. 1, p. 8830127, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/8830127>

EFRAIM, P., PEZOA-GARCÍA, N. H., JARDIM, D. C. P., NISHIKAWA, A., HADDAD, R., EBERLIN, M. N. Influência da fermentação e secagem de amêndoas de cacau no teor de compostos fenólicos e na aceitação sensorial. *Food Science and Technology*, v. 30, p. 142-150, 2010.

EFRAIM, P., PIRES, J. L., GARCIA, A. D. O., GRIMALDI, R., LUCCAS, V. PEZOA-GARCIA, N. H. Characteristics of cocoa butter and chocolates obtained from cocoa varieties grown in Bahia, Brazil. *European Food Research and Technology*, 237(3), pp.419-428, 2013.

ENGELHARDT, B. A. S.; DA SILVA ARRIECHE, L. Análise da secagem de amêndoas de cacau por convecção forçada a partir de diferentes secadores. *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 2, n. 2, p. 18-26, 2016. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/BJPEWEQ_03. Acesso em: 24 out. 2024.

EUROPEAN COMMISSION. Directive 2000/36/EC of the European Parliament and of the Council of 23 June 2000 relating to cocoa and chocolate products intended for human consumption. *Official Journal of the European Communities EG*, n. 197, p. 19, 2000.

FANG, Y. et al. Chemical and flavor profile changes of cocoa beans (*Theobroma cacao* L.) during primary fermentation. *Food Science & Nutrition*, v. 8, n. 8, p. 4121-4133, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.1701>

FIGUEIRA, Aline Cássia. Estruturação da manteiga de cacau com monoglicerídeos e fitoesteróis livres. 2021. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ital.sp.gov.br/jspui/handle/123456789/606>.

FLEET, G. H. et al. Unravelling the contribution of lactic acid bacteria and acetic acid bacteria to cocoa fermentation using inoculated organisms. *International journal of food microbiology*, v. 279, p. 43-56, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.04.040>

FOWLER, M. S.; COUTEL, F. Cocoa beans: from tree to factory. *Beckett's industrial chocolate manufacture and use*, p. 9-49, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch2>

FRANKE, K.; HEINZELMANN, K. Structure improvement of milk powder for chocolate processing. *International dairy journal*, v. 18, n. 9, p. 928-931, 2008.

GOYA, L.; KONGOR, J. E.; DE PASCUAL-TERESA, S. From cocoa to chocolate: Effect of processing on flavanols and methylxanthines and their mechanisms of action. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 23, n. 22, p. 14365, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms232214365>

GUCKENBIEHL, Y.; MARTIN, A.; ORTNER, E.; ROTHKOPF, I.; SCHWEIGGERT-WEISZ, U.; BUETTNER, A.; NAUMANN-GOLA, S. Aroma-active volatiles and rheological characteristics of the plastic mass during conching of dark chocolate. *Food Research International*, v. 162, p. 112063, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112063>

GUILLÉN-CASLA, V., ROSALES-CONRADO, N., LEÓN-GONZÁLEZ, M. E., PÉREZ-ARRIBAS, L. V., POLO-DÍEZ, L. Determination of serotonin and its precursors in chocolate samples by capillary liquid chromatography with mass spectrometry detection. *Journal of Chromatography A*, v. 1232, p. 158-165, 2012.

GUTIÉRREZ, T. J. State-of-the-art chocolate manufacture: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 16, n. 6, p. 1313-1344, 2017.

GUZMÁN-ALVAREZ, R. E.; MÁRQUEZ-RAMOS, J. G. Fermentation of cocoa beans. *Fermentation-Processes, Benefits and Risks*, v. 127, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.98756>

HAMDOUCHE, Y. et al. Impact of turning, pod storage and fermentation time on microbial ecology and volatile composition of cocoa beans. *Food Research International*, v. 119, p. 477-491, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.001>

HERRERA-ROCHA, F. et al. Dissecting fine-flavor cocoa bean fermentation through metabolomics analysis to break down the current metabolic paradigm. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 21904, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01427-8>

HINNEH, M. et al. Applicability of the melanger for chocolate refining and Stephan mixer for conching as small-scale alternative chocolate production techniques. *Journal of Food Engineering*, v. 253, p. 59-71, 2019.

HULME, M. F. et al. Improving cocoa harvest can mitigate for crop damage by wildlife in a forest-agriculture matrix. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 265, p. 236-243, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.06.019>

HÜTZ-ADAMS, F., HUBER, C., KNOKE, I., MORAZÁN, P., MÜRLEBACH, M. Strengthening the competitiveness of cocoa production and improving the income of cocoa producers in West and Central Africa. *SÜDWIND eV Kaiserstr, Bonn*, 2016.

IOANNONE, F.; DI MATTIA, C. D.; DE GREGORIO, M. I. R. I. A. M.; SERGI, M.; SERAFINI, M. A. U. R. O.; SACCHETTI, G. Flavanols, proanthocyanidins and antioxidant activity changes during cocoa (*Theobroma cacao* L.) roasting as affected by temperature and time of processing. *Food chemistry*, v. 174, p. 256-262, 2015.

ISHAQ, S.; JAFRI, L. Biomedical importance of cocoa (*Theobroma cacao*): significance and potential for the maintenance of human health. *Matrix Science Pharma*, v. 1, n. 1, p. 01-05, 2017.

JUNIOR, G. C. A. C. et al. Chemical implications and time reduction of on-farm cocoa fermentation by *Saccharomyces cerevisiae* and *Pichia kudriavzevii*. *Food Chemistry*, v. 338, p. 127834, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127834>

KEIJBETS, E. L.; CHEN, J.; VIEIRA, J. Chocolate demoulding and effects of processing conditions. *Journal of Food Engineering*, v. 98, n. 1, p. 133-140, 2010.

KONGOR, J. E.; HINNEH, M.; VAN DE WALLE, D.; AFOAKWA, E. O.; BOECKX, P.; DEWETTINCK, K. Factors influencing quality variation in cocoa (*Theobroma cacao*) bean flavour profile—A review. *Food Research International*, v. 82, p. 44-52, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.012>

KRYSIAK, W.; ADAMSKI, R.; ŻYŻELEWICZ, D. Factors affecting the color of roasted cocoa bean. *Journal of Food Quality*, v. 36, n. 1, p. 21-31, 2013.

LATIF, R. Chocolate/cocoa and human health: a review. *Neth J Med*, v. 71, n. 2, p. 63-8, 2013.

LI, Y.; ZHANG, D.; MOTILAL, L. A.; LACHENAUD, P.; MISCHKE, S.; MEINHARDT, L. W. Traditional varieties of cacao (*Theobroma cacao*) in Madagascar: their origin and dispersal revealed by SNP markers. *Beverage Plant Research* 1: 4. 2021. doi: <https://doi.org/10.48130/BPR-2021-0004>

LIMA, C. O. C. et al. Unraveling potential enzymes and their functional role in fine cocoa beans fermentation using temporal shotgun metagenomics. *Frontiers in Microbiology*, v. 13, p. 994524, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.994524>

LIMA, G. V. S. et al. Impact of post-harvest processing and roasting conditions on the physicochemical properties, phenolic compounds, and antioxidant capacity of cocoa beans from the Brazilian Amazon. *LWT*, p. 116825, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116825>

LIPPI, D. Chocolate in history: Food, medicine, medi-food. *Nutrients* 2013, 5, 1573–1584.

LIU, J. et al. A comparative study of aroma-active compounds between dark and milk chocolate: relationship to sensory perception. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 95, n. 6, p. 1362-1372, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6831>

LOFFREDO, L.; BARATTA, F.; LUDOVICA, P.; BATTAGLIA, S.; CARNEVALE, R.; NOCELLA, C.; ... DEL BEN, M. Effects of dark chocolate on endothelial function in patients with non-alcoholic steatohepatitis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, v. 28, n. 2, p. 143-149, 2018.

LOFFREDO, L.; PERRI, L.; NOCELLA, C.; VIOLI, F. Antioxidant and antiplatelet activity by polyphenol-rich nutrients: focus on extra virgin olive oil and cocoa. *British journal of clinical pharmacology*, v. 83, n. 1, p. 96-102, 2017.

LUCCAS, V. Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate. Tese (Doutorado em Engenharia Química) UNICAMP. Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP. 2001, 196 f.

MARQUES, J. R. B.; MONTEIRO, W. R. Substituição sustentável de eritrina por seringueira em SAF de cacau. *Agrotrópica*, v. 28, n. 2, p. 101-122, 2016. DOI: 10.21757/0103-3816.2016v28n2p101-122

MECK, C. Mysteries of conching revealed. In: 72nd PMCA Production Conference. 2018. Disponível em: <https://www.pmca.com/wordpress/wp-content/uploads/2020/07/Mysteries-of-Conching-Revealed-paper-reduced.pdf>

MELO, C. W. B. D.; BANDEIRA, M. D. J.; MACIEL, L. F.; BISPO, E. D. S.; SOUZA, C. O. D.; SOARES, S. E. Chemical composition and fatty acids profile of chocolates

produced with different cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivars. *Food Science and Technology*, v. 40, p. 326-333, 2020.

MELO, L. J.; ORJUELA, A.; GUERRERO, E. Improvement of industrial processes in Colombia. Case study: Cocoa pressing process in a chocolate factory. *Chemical Engineering Research and Design*, 2022.

MILLER, K. B., HURST, W. J., PAYNE, M. J., STUART, D. A., APGAR, J., SWEIGART, D. S., OU, B. Impact of alkalization on the antioxidant and flavanol content of commercial cocoa powders. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 56, n. 18, p. 8527-8533, 2008.

MIN, S. Y.; YANG, H.; SEO, S. G.; SHIN, S. H.; CHUNG, M. Y.; KIM, J.; ... LEE, K. W. Cocoa polyphenols suppress adipogenesis in vitro and obesity in vivo by targeting insulin receptor. *International journal of obesity*, v. 37, n. 4, p. 584-592, 2013.

MOHAMMAD RIDWAN, Norazlina; MAMAT, Hasmadi; HAQUE AKANDA, Md Jahurul. Physical Blending of Fractionated Bambang Kernel Fat Stearin and Palm Oil Mid-Fraction to Formulate Cocoa Butter Equivalent. *Foods*, v. 12, n. 9, p. 1744, 2023.

MOHER, D. et al. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of internal medicine*, v. 151, n. 4, p. 264-269, 2009. Disponível em: <https://www.acpjournals.org/doi/full/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>

MOHOS, F. Á. Confectionery and Chocolate Engineering: Principles and Applications, *Confect. Choc. Eng. Princ. Appl.* 2010. <https://doi.org/10.1002/9781444320527>.

MOKBUL, Mansura; CHEOW, Yuen Lin; SLOW, Lee Fong. Characterization of Cocoa Butter Replacer Developed from Agricultural Waste of Mango Kernel and Rice Bran. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 2023, n. 1, p. 9994657, 2023.

MONTAGNA, M. T.; DIELLA, G.; TRIGGIANO, F.; CAPÔNIO, G. R.; GIGLIO, O. D.; CAGGIANO, G.; DI CIAULA, A.; PORTINCASA, P. Chocolate, "Food of the Gods": History, science, and human health. *International journal of environmental research and public health*, v. 16, n. 24, p. 4960, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16244960>

MORAMARCO, S.; NEMI, L. Nutritional and Health Effects of Chocolate. In *The Economics of Chocolate*, 1st ed.; Squicciarini, M.P., Swinner, J., Eds.; Oxford University Press: New York, NY, USA, 2016; pp. 134–156.

MUBETENEH, T. C. Cameroon cocoa story. University of Dschang. Retrieved June, v. 11, p. 47, 2007. Disponível em: http://www.supplychainge.org/fileadmin/reporters/at_files/Cameroon_cocoa_story.pdf Accessed 30th Ago 2022.

NAIR, K. P. P. The agronomy and economy of important tree crops of the developing world. 2010.

NEHLIG, A. The neuroprotective effects of cocoa flavanol and its influence on cognitive performance. *British journal of clinical pharmacology*, v. 75, n. 3, p. 716-727, 2013.

NGUYEN, H. B.; PHAM, D. L.; NGUYEN, V. L. A Study on the Breaking and Winnowing Machine for Cocoa Beans at Small Industrial Scale in Vietnam. *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol*, v. 9, n. 1, p. 329, 2019. Acesso em: 26 out. 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Bich-Nguyen/publication/331479057_A_Study_on_the_Breaking_and_Winnowing_Machine_for_Cocoa_Beans_at_Small_Industrial_Scale_in_Vietnam/links/5c7e994f458515831f8568e6/A-Study-on-the-Breaking-and-Winnowing-Machine-for-Cocoa-Beans-at-Small-Industrial-Scale-in-Vietnam.pdf

NGUYỄN, H. V. H.; LÊ, H. M.; SAVAGE, G. P. Effects of maturity at harvesting and primary processing of cocoa beans on oxalate contents of cocoa powder. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 67, p. 86-90, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.01.007>

NIIKOI KOTÉY, R. et al. Effects of fermentation periods and drying methods on postharvest quality of cocoa (*Theobroma cacao*) beans in Ghana. *Journal of Food Quality*, v. 2022, n. 1, p. 7871543, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/7871543>

OETTERER, M.; D'ARCE, M.A.B.R.; SPOTO, M. Fundamentos de ciência e tecnologia de alimentos. 1ed. Barueri: Manole, 2006. 632p.

OZTURK, G; YOUNG, G. M. Food evolution: the impact of society and science on the fermentation of cocoa beans. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, v. 16, n. 3, p. 431-455, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12264>

PAIXÃO, M. V. S.; DEMUNER, F. M.; DE SOUSA, P. Pre Germinating Treatments on Germination of Cocoa Seeds. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*. Vol.6, Issue 6, 2019. <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6.6.13>

PAPPIANI, C. Efeito dos ácidos graxos ômega-3, ômega-6 e ômega-9 sobre o risco cardiovascular de indivíduos adultos: estudo clínico de prevenção primária (Tese de doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo. 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6138/tde-02062016-145648/>

PARRA, P.; CASTILLO, O.; MALDONADO, P. Alternative method for the fermentation of cocoa beans. In: 2018 IEEE International Conference on Automation/XXIII Congress of the Chilean Association of Automatic Control (ICA-ACCA). IEEE, 2018. p. 1-6. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICA-ACCA.2018.8609760>

PRAWIRA, M.; BARRINGER, S. A. Effects of conching time and ingredients on preference of milk chocolate. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 33, n. 5, p. 571-589, 2009.

PUCCIARELLI, D. L. Cocoa and heart health: a historical review of the science. *Nutrients*, v. 5, n. 10, p. 3854-3870, 2013.

RAHARDJO, Y. P. et al. A literature review on cocoa fermentation techniques to shorten fermentation time. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. p. 012111. DOI: 10.1088/1755-1315/974/1/012111

ROCHA, I. S., SANTANA, L. R. R. D., SOARES, S. E., BISPO, E. D. S. Effect of the roasting temperature and time of cocoa beans on the sensory characteristics and acceptability of chocolate. *Food Science and Technology*, v. 37, p. 522-530, 2017.

ROUSSEAU, D.; SMITH, P. Microstructure of fat bloom development in plain and filled chocolate confections. *Soft Matter*, v. 4, n. 8, p. 1706-1712, 2008.

SALES, J. H.; CÂNDIDA, T. Efeito da temperatura sobre a amêndoa de cacau: secador vertical. *Revista GEINTEC-Gestão, Inovação e Tecnologias*, v. 6, n. 3, p. 3437-3446, 2016.

SANTOS, Raul D. et al. I Diretriz sobre o consumo de gorduras e saúde cardiovascular. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, v. 100, p. 1-40, 2013.

SARBU, I.; CSUTAK, O. The microbiology of cocoa fermentation. In: *Caffeinated and cocoa based beverages*. Woodhead Publishing, 2019. p. 423-446. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815864-7.00013-1>

SCHENK, H.; PESCHAR, R. Understanding the structure of chocolate. *Radiation physics and chemistry*, v. 71, n. 3-4, p. 829-835, 2004.

SCHOMAKER, M.; SCHRÄER, C.; LÖRCHER, M. Measurement and Control of the Gloss of Chocolate. *Chemical Engineering & Technology*, v. 43, n. 11, p. 2336-2343, 2020.

SCHROTH, G.; LÄDERACH, P.; MARTINEZ-VALLE, A. I.; BUNN, C.; JASSOGNE, L. Vulnerability to climate change of cocoa in West Africa: Patterns, opportunities and limits to adaptation. *Science of the Total Environment*, v. 556, p. 231-241, 2016.

SCHWAN, R. F.; FLEET, G. H. (Ed.). *Cocoa and coffee fermentations*. CRC Press, 2014.

SILVA, T. L. T.; GRIMALDI, R.; GONÇALVES, L. A. G. Temperature, time and fat composition effect on fat bloom formation in dark chocolate. *Food Structure*, v. 14, p. 68-75, 2017.

SINUHAJI, T. R. F.; SUHERMAN, S.; HADIYANTO, H. A Systematic Literature Review of The Drying of Cocoa In 2003-2023. *Food and Humanity*, p. 100347, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100347>

STREULE, S. et al. Monitoring of cocoa post-harvest process practices on a small-farm level at five locations in Ecuador. *Heliyon*, v. 8, n. 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09628>

SUAZO, Y.; DAVIDOV-PARDO, G.; AROZARENA, I. Effect of fermentation and roasting on the phenolic concentration and antioxidant activity of cocoa from N icaragua. *Journal of Food Quality*, v. 37, n. 1, p. 50-56, 2014.

SUBRAMANIAM, P.; MURPHY, O. Contraction of milk chocolate. *Manufacturing Confectioner*, p. 61, 2001.

SUH, N. N.; MOLUA, E. L. Cocoa production under climate variability and farm management challenges: Some farmers' perspective. *Journal of Agriculture and food Research*, v. 8, p. 100282, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100282>

TAŞ, N. G.; GÖKMEN, V. Effect of alkalization on the Maillard reaction products formed in cocoa during roasting. *Food Research International*, v. 89, p. 930-936, 2016.

TASLIM, N. A.; RASYID, H.; ATMANEGARA, M. K.; ANGRIAVAN, S.; AMELIA, R. Effect of chocolate soybean drink on nutritional status, gamma interferon, vitamin D, and calcium in newly lung tuberculosis patients. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, v. 8, n. T2, p. 210-214, 2020. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2020.5233>

THILAKARATHNA, R. C. N. et al. Development of a novel cocoa butter equivalent from mahua oil-palm stearin blend through two-stage solvent fractionation. *LWT*, v. 201, p. 116244, 2024.

TOXOPEUS, H. A cocoa research scheme for the ICA Programa de Cacao: report of the 2nd technical advisory mission to strengthen the ICA Programa de Cacao, in particular its breeding and genetic resources effort, 3 november-3 december 1987. 1987.

TZOUNIS, X.; RODRIGUEZ-MATEOS, A.; VULEVIC, J.; GIBSON, G. R.; KWIK-URIBE, C.; SPENCER, J. P. Prebiotic evaluation of cocoa-derived flavanols in healthy humans by using a randomized, controlled, double-blind, crossover intervention study. *The American journal of clinical nutrition*, v. 93, n. 1, p. 62-72, 2011.

VALENZUELA, A.; VALENZUELA, R. La innovación en la industria de alimentos: Historia de algunas innovaciones y de sus innovadores. *Revista chilena de nutrición*, v. 42, n. 4, p. 404-408, 2015.

VALVERDE GARCIA, D.; PEREZ ESTEVE, E.; BARAT BAVIERA, J. M. Changes in cocoa properties induced by the alkalization process: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 19, n. 4, p. 2200-2221, 2020.

VEGA, C.; KWIK-URIBE, C. *Theobroma cacao*—An introduction to the plant, its composition, uses, and health benefits. In: *Cocoa butter and related compounds*. AOCS Press, 2012. p. 35-62.

VERNA, R. The history and science of chocolate. *The Malaysian journal of pathology*, v. 35, n. 2, p. 111, 2013. <http://www.mjpath.org.my/2013.2/history-and-science-of-chocolate.pdf>

WOLLGARTEN, S.; YUCE, C.; KOOS, E.; WILLENBACHER, N. Tailoring flow behavior and texture of water based cocoa suspensions. *Food Hydrocolloids*, v. 52, p. 167-174, 2016.

WOLLGAST, J.; ANKLAM, E. Review on polyphenols in *Theobroma cacao*: changes in composition during the manufacture of chocolate and methodology for identification and quantification. *Food Research International*, v. 33, n. 6, p. 423-447, 2000.

WOOD, E. J. The Science of Chocolate. 2008.

ZHAO, J. et al. The effect of lactic acid bacteria on cocoa bean fermentation. International Journal of food microbiology, v. 205, p. 54-67, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.03.031>

ZIEGLEDER, G. Flavour development in cocoa and chocolate. S.T. Beckett, M.S. Fowler, G.R. Ziegler (Eds.), Beckett's industrial chocolate manufacture and use, John Wiley & Sons Inc. pp. 185-215. 2017.

CAPÍTULO 3 – Manuscrito Científico

Manuscrito científico com os resultados do potencial antioxidante (ensaios ABTS+, DPPH e FRAP), dos compostos fenólicos totais (*Folin-Ciocalteu*) e da caracterização físico-química dos extratos em estudo, intitulado *Physicochemical characterization and antioxidant potential of plant extracts for use in foods*, aceito para publicação dia 30/12/2024, no periódico científico *Brazilian Journal of Food Technology*, formatado de acordo com as normas da revista.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND ANTIOXIDANT POTENTIAL OF PLANT EXTRACTS FOR USE IN FOODS ANTIOXIDANT POTENTIAL AND COMPOSITION OF EXTRACTS

Nome completo: *Felipe de Lima Franzen (*autor correspondência)
Instituição/Departamento: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição.
Endereço postal completo: Rua Monteiro Lobato, 80 / CEP 13083-862 / Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo / Campinas / São Paulo / Brasil.
Telefone: +5555997202827
E-mail: fFranzen2@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8925-4098>

Nome completo: Gabriela Boscariol Rasera
Instituição/Departamento: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.
Endereço: Rua Monteiro Lobato, 80 / CEP 13083-862 / Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo / Campinas / São Paulo / Brasil.
E-mail: gabi_boscariol@hotmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3170-4006>

Nome completo: Klycia Fidélis Cerqueira e Silva
Instituição/Departamento: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.
Endereço: Rua Monteiro Lobato, 80 / CEP 13083-862 / Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo / Campinas / São Paulo / Brasil.
E-mail: klyciafidelis@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4794-2519>

Nome completo: Ruann Janser Soares de Castro
Instituição/Departamento: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.
Endereço: Rua Monteiro Lobato, 80 / CEP 13083-862 / Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo / Campinas / São Paulo / Brasil.
E-mail: ruann@unicamp.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2649-8567>

Nome completo: Mari Silvia Rodrigues de Oliveira

Instituição/Departamento: Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos.

Endereço: Av. Roraima nº 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Centro de Ciências Rurais, Prédio 42, sala 3208 / CEP: 97105-900 / Santa Maria / Rio Grande do Sul / Brasil.

E-mail: mari.oliveira@ufsm.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4803-5643>

Nome completo: Helena Maria Andre Bolini

Instituição/Departamento: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição.

Endereço postal completo: Rua Monteiro Lobato, 80 / CEP 13083-862 / Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Barão Geraldo / Campinas / São Paulo / Brasil.

E-mail: hellini@unicamp.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9841-4479>

Physicochemical characterization and antioxidant potential of plant extracts for use in foods

Abstract

The challenge of producing safe, high-quality food has led the food industry to look for natural products. Plants are excellent sources of nutritional compounds and phytochemicals, which can add functional value to products. This research aimed to evaluate plant extracts (açai, cinnamon, guarana, hibiscus, jambu, and mate) for their physicochemical properties and to assess their antioxidant potential, thus allowing application in food products. The açai extract had the highest total carbohydrate content (90.1%), while the cinnamon extract exhibited the highest L* value (67.8). In the comparative analysis, the guarana extract had the highest protein content (20.9%) while the jambu extract had the highest lipid content (19.7%) and consequently the highest energy value (474 kcal.100 g⁻¹). The highest amounts of the elements C and N were reported in the guarana extract (73.3% and 4.4%, respectively), while the elements Ca and P were more pronounced in the hibiscus extract (0.5% and 0.2%). Regarding the color parameters, as expected, the hibiscus extract exhibited more red color (a* = 17.5), while the jambu extract had a lower luminosity and b* value (28.3 and -1.4, respectively), indicating green and blue tones. The mate extract showed greater antioxidant potential in the three assays, 1574.3 µmol TE g⁻¹ (ABTS+), 1048.9 µmol TE g⁻¹ (DPPH) and 2539.9 µmol TE g⁻¹ (FRAP) and higher content of TPC (776 mg GAE g⁻¹). The plant extracts have great potential as natural colorants and ingredients in food formulations due to their physicochemical characteristics such as color, proteins, lipids, minerals, and antioxidant potential.

Highlights

- The dried mate showed the highest content of phenolic compounds and antioxidant potential.
- The hibiscus had the higher ash content and the higher concentration of chemical elements.
- The elemental analysis showed chemical elements characteristic of aromas and flavors.

Key-words: medicinal plants, phenolic compounds, ferric reducing power, proximate composition, color, particle size diameter, elemental composition.

Introduction

The food industry has faced daily challenges with the great demand to develop and produce safe and high-quality food. To satisfy this demand when working with natural inputs, the physicochemical characteristics of these materials and their composition of bioactive compounds should be investigated (Santana & Macedo, 2018; Roggia et al., 2020). Medicinal plants have been known since antiquity, and are widely consumed around the world, and recognized as excellent sources of nutritional and phytochemical compounds. (Chen & Wei, 2017; Franzen et al., 2019; Stefaniak & Grzeszczuk, 2019; Franzen et al., 2020; Franzen et al., 2021). These phytochemical compounds can be used to add functional value to food products, in addition to improving health and providing clean labels.

Among a broad universal of phytochemicals, the phenolic compounds have been the most investigated due to their inflammatory, antioxidant, and even anti-aging capacity, allowing the production of plant extracts with high economic value. The phenolic profile varies according to the plant species and the extract preparation process (Rasera et al., 2019; Magro & De Castro, 2020; Magalhães & Santos, 2021; Santos et al., 2022).

These natural antioxidant substances can be used to increase the shelf life of foods, in addition to promoting health benefits, acting in the prevention of various diseases related to oxidative stress, such as cancer, cardiovascular and neurodegenerative diseases, hypertension, and diabetes (Cardozo Junior & Morand, 2016; Kaulika & Febriansah, 2019; Magalhães & Santos, 2021).

In recent years, there has been an increase in the demand and interest of researchers in açai pulp (*Euterpe oleracea* Martius), due to its high antioxidant capacity provided the presence of polyphenols and tocopherols, which explains its classification as a functional food for the prevention of several degenerative diseases (Yamaguchi et al., 2015; Monge-Fuentes et al., 2017; Oliveira et al., 2019; De Jesus et al., 2020).

Cinnamomum zeylanicum Blume, known as "cinnamon", is a plant native to regions of South Asia. The parts (barks, leaves, and flowers) of *C. zeylanicum* are sources of bioactive compounds which have analgesic, antiseptic, anticancer, coagulant, neuroprotective, hepatoprotective, gastroprotective, cardioprotective, antimicrobial and antioxidant potential, in addition to controlling serum and lipid levels

and reducing blood cholesterol concentration (Nabavi et al., 2015; Chuesiang et al., 2019; Gomes et al., 2020; Da Silva et al., 2020).

Guarana (*Paullinia cupana* Kunth, Sapindaceae) is a Brazilian plant originally from the Amazon region and its roasted seeds are used for their stimulant, aphrodisiac, and healing properties. The guarana plant is associated with a wide variety of pharmacological effects, including anticarcinogenic, antiproliferative, antimicrobial, antioxidant, energetic cytoprotective, thermogenic, antidepressant, anxiolytic, and reducing oxidative and metabolic disorders (Hertz et al., 2015; Machado et al., 2015; Matsuura et al., 2015; Kober et al., 2016; Marques et al., 2019).

The *Hibiscus sabdariffa* L. plant is a species of the Hibiscus genus and belongs to the Malvaceae family, originating in Asia and Africa. In traditional medicine, hibiscus is used as a diuretic, and for the treatment of gastrointestinal disorders, liver infections, fever, and hypertension. Hibiscus is considered a functional food in Asian countries, it is a rich source of flavonoids and the economic interest is in dehydrated calyxes, used worldwide for the production of teas, foods, conservatives, and antioxidants (Husin et al., 2017; Su et al., 2018; Vargas-León et al., 2018).

Acmella oleracea (L.), also known as *Spilanthes oleracea* L., from the Asteraceae family, was discovered in Peru, and is found in tropical and subtropical regions, where it is known as jambu. It is an important medicinal plant, traditionally used for its analgesic and anti-inflammatory properties, but also for antipyretic, anticonvulsant, antidiarrheal, antidiuretic, antiseptic, antifungal, antiprotozoal and insecticidal properties (Lalthanpuii et al., 2020; Maggini et al., 2021; Uthpala & Navaratne, 2021).

Ilex paraguariensis A. St. - Hil., popularly known as yerba mate is a species native to temperate and subtropical regions of South America, belonging to the Aquifoliaceae family. The compounds present in *I. paraguariensis*, have several therapeutic properties and are recommended as hypocholesterolemic, hepatoprotective, diuretic, digestive, nervous system stimulant, antioxidant, anti-inflammatory, antirheumatic, and lipolytic agent. It is also indicated for the treatment of occasional asthenia. and as an adjunct in the treatment of overweight (Fagundes et al., 2015; Gambero & Ribeiro, 2015; Antunes et al., 2018).

Many *in vitro* antioxidant assays are available in the literature to assess the bioactivity of extracts, and the most common methodologies include ABTS, DPPH, and

FRAP assays. These methods differ in the principles of the chemical reaction, the target molecule, the way of expressing the results, the pH of the environment, the reaction time, and the plant matrix, among others. Therefore, methodologies using different mechanisms and chemical reagents are required to evaluate the *in vitro* antioxidant capacity of natural extracts. It is also important to take into account the polarity of the antioxidant compounds present in the plant matrix (Oliveira et al., 2015; Granato et al., 2018).

Thus, this study aimed to determine the total phenolic compounds (Folin-Ciocalteu), the antioxidant potential (ABTS⁺, DPPH, and FRAP assays) and to investigate the physicochemical characterization of the plant extracts of *Euterpe oleraceae* Martius. (Açaí), *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Cinnamon), *Paullinia cupana* Kunth (Guarana), *Hibiscus sabdariffa* DC. (Hibiscus), *Spilanthes oleraceae* L. (Jambu) and *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Dried Mate).

Materials and methods

2.1 Material

The plant extracts were kindly donated by Grupo Centroflora/Givaudan® (Rod. Eduardo Zuccari, km 21,5, Botucatu, SP, Brazil), and registered in the National System for the Management of Genetic Heritage and Associated Traditional Knowledge (SisGen) under registration number A69B2CF.

The extracts of the species *Euterpe oleraceae* Martius. (Açaí) batch number 160620.02807, product code number 100343, *Cinnamomum zeylanicum* Blume (Cinnamon) batch number 251018.00885, product code number 200064, *Paullinia cupana* Kunth (Guaraná) batch number 200521.03897, product code number 100350, *Hibiscus sabdariffa* DC. (Hibiscus) batch number 020221.03470, product code number 100101 e *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. (Dried Mate) batch number 041120.03238, product code number 100383, were presented in the form of a fine soluble powder and the extract of *Spilanthes oleraceae* L. (Jambu) batch number 010921.04255, product code number 100400, was presented in the form of a viscous liquid. All extracts of this study are used as food ingredients and additives by the supplier company, which attests to its safety by the ABNT-NBR 14725-2: 2009 – corrected version 2:2010.

2.2 Reagents for the analysis of phenolic compounds and antioxidant potential

The 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulphonic acid (ABTS), potassium persulphate, 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH), Ferric Chloride Hexahydrate ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), (TPTZ), Folin and Ciocalteu's phenol reagent, sodium carbonate were purchased from Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany). All other chemicals were purchased in the grade commercially available.

2.3 Preparation of extracts for the analysis of phenolic compounds and antioxidant potential

To prepare the extracts for analysis, 0,25 g of each plant material was placed in test tubes with 10 mL of distilled water, and homogenized for 1 hour. After homogenization, sample dilutions (extract:distilled water) of 1:50, 1:100, 1:300, and 1:500 were made for the analysis.

2.4 Total phenolic content (TPC)

The total phenolics were estimated according to the method of Swain & Hillis (1959) with modifications suggested by Pereira et al. (2018). Briefly, 25 μL of diluted extracts were mixed with 25 μL of Folin and Ciocalteu's phenol reagent (50%, v:v). After that, 200 μL of sodium carbonate solution (5%, w:v) was added. The reaction mixtures were allowed to stand for 20 min at 40°C. The absorbance was read in a micro plaque reader at 760 nm. Total phenolic compounds were expressed as mg of gallic acid equivalents (GAE) per gram of sample (mg GAE g^{-1}).

2.5 Antioxidant potential

The antioxidant potential were measured by different methodologies, as follows: ABTS- and DPPH- radicals scavenging activity (Al-Duais et al., 2009) and ferric reducing power (FRAP) assay (Benzie & Strain, 1996; Wiriyaaphan et al., 2012). The detailed procedures were described by Rasera et al. (2019). All results were expressed as μmol of Trolox equivalents per g of dried and defatted sample ($\mu\text{mol TE g}^{-1}$).

2.6 Physicochemical characterization of plant extracts

The moisture contents of the extracts were determined by the AOAC (2005) method in a Marconi® drying oven, model MA 035/5-PB. The ash contents were determined by incineration in a muffle furnace (Fornitec®, model 1994) at 550 °C (AOAC, 2005). Protein contents were determined by the Kjeldahl method with a conversion factor of 6.25 (AOAC, 2005). Lipid contents were determined according to the method of Bligh and Dyer (1959). Total carbohydrates were estimated by the difference between the total mass and the sum of moisture, ash, protein, and lipids levels. The energy value of the extracts was calculated according to Franzen et al. (2019). The pH was measured using SevenGo™ pH meter SG2 da Mettler Toledo® and the total soluble solids (TSS) was determined in a digital portable refractometer model PAL-3, Atago® was used. For the elemental quantification of the extracts, a K-alpha XPS spectrometer (Thermo Scientific) was used with a monochromatic Al K α X-ray source (72 W) as cited by Silva et al. (2022), using 10 different positions of the extract powders. Electron kinetic energy was measured by a 180° hemispherical energy analyzer operated in the analyzer's constant energy mode, and data acquisition and processing were performed using Thermo Advantage software (Thermo Scientific). The color of the extracts was analyzed in a Konica Minolta CR-410 colorimeter, calibrated according to the CIELAB system (L*, a*, b*) with measurement of the luminosity parameters (L*) with a range of 0 = black and 100 = white, a* and b* coordinates responsible for chromaticity (+a* = red, -a* = green and +b* = yellow, -b* = blue), color intensity or chroma (c*) and the hue angle (h°) (illuminant D65). These measurements were made at 10 random points of the samples, for a better representation of the color of the extracts.

2.7 Statistical analysis

The results were analyzed according to the Tukey test, using the software IBM® SPSS Statistics, version 22.0 (USA). The values were expressed as the arithmetic mean and considered statistically different at p-value ≤ 0.05 .

Results and discussion

The results of the extract characterization are shown in Table 1. The total phenolic contents (TPC) were expressed in mg of gallic acid equivalent per g of extract

(mg GAE g⁻¹) and ranged from 428.46 to 776.09 mg GAE g⁻¹ for the açai and dried mate extracts, respectively.

Tabela 4 - (Table 1 do artigo) Total phenolic contents (TPC) and antioxidant potential measured by ABTS- and DPPH- radicals scavenging activities and FRAP assay of the plant extracts.

Sample	TPC (mg GAE g ⁻¹)	ABTS (μmol TE g ⁻¹)	DPPH (μmol TE g ⁻¹)	FRAP (μmol TE g ⁻¹)
Açaí	428.46 ^d ± 8.01	38.06 ^e ± 6.56	359.03 ^d ± 18.27	63.04 ^e ± 5.44
Cinnamon	432.81 ^{cd} ± 10.70	253.38 ^c ± 4.86	506.62 ^c ± 31.03	132.04 ^{de} ± 21.20
Guarana	652.62 ^b ± 14.55	1140.95 ^b ± 24.52	849.83 ^b ± 63.57	834.79 ^b ± 24.02
Hibiscus	457.95 ^{cd} ± 7.76	186.58 ^{cd} ± 5.01	575.78 ^c ± 26.72	240.40 ^{cd} ± 22.08
Jambu	464.77 ^c ± 7.76	116.39 ^{de} ± 6.59	473.82 ^{cd} ± 24.53	294.37 ^c ± 14.14
Dried Mate	776.09 ^a ± 20.09	1574.32 ^a ± 86.87	1048.92 ^a ± 77.58	2539.94 ^a ± 130.51

Means followed by equal letters (vertical) do not differ statistically from each other by the Tukey test at 5% (p-value ≤ 0.05).

It was observed that the dry mate extract presented a statistical difference compared to the other plant extracts analyzed (p<0.05) for TPC content and antioxidant potential for the three methods applied in this study. Guarana extract was also highlighted in the comparative results between the four tests.

The dried mate extract had the highest TPC content with 776.09 mg GAE g⁻¹, followed by guarana extract with 652.62 mg GAE g⁻¹. The third extract with the highest TPC content was the jambu extract with 464.77 mg GAE g⁻¹, which did not differ statistically from the hibiscus (457.95 mg GAE g⁻¹) and cinnamon (432.81 mg GAE g⁻¹) extracts for this parameter.

The present results are in line with the literature and confirm that yerba mate is an important source of polyphenols, with similar phenolics content to other polyphenol-rich beverages such as cocoa powder, black tea, and red wine (Blum-Silva et al., 2015; Mateos et al., 2018).

Several studies have pointed out the complexity of the chemical composition of yerba mate. The main active compounds with high concentrations found in the leaves and branches of the plant include polyphenols (chlorogenic acid) and xanthines (caffeine, theobromine, and theophylline), followed by purine alkaloids (caffeic acid, 3,4-dicaffeoylquinic acid, 3,5-dicaffeoylquinic acid) and flavonoids

(quercetin, kaempferol, and rutin) (Bojić et al., 2013; Braghini et al., 2014; Cardozo et al., 2021).

Silva et al. (2019) studied the characterization of solid lipid microparticles with guarana seed extract (*Paullinia cupana*) and found the highest content of phenolic compounds of 434.56 mg GAE/g in guarana seed extract, using pure ethanol (50%) and water (50%) as solvents. Those authors also used spray-drying to produce powdered extracts using 50% ethanol as a solvent and reported a total phenolics content of 437.75 mg GAE/g.

Santana et al. (2019) evaluated the extraction of raw seeds and guarana (*Paullinia cupana*) residues using pressurized liquids and supercritical CO₂ combined with enzymes and reported a total phenolic compound content of 642.45 mg GAE/100 g in the extraction of raw seeds using the enzyme pectinase by the pressurized liquid extraction method. For the supercritical fluid extraction method with the pectinase enzyme, the content of total phenolic compounds in the extract was 604.71 mg GAE/100 g. For the guarana residue extracts, the total phenolic compound values were 560.43 mg and 386.20 mg GAE/100 g using the pressurized liquid extraction method and the enzymes cellulase and pectinase, respectively. Concerning the supercritical fluid extraction using the cellulase and pectinase enzymes, the values were 183.97 mg and 188.15 mg GAE/100 g, respectively. Thus, despite the use of different methodologies, the results of this study corroborate the finding of other studies.

The biological properties of jambu are due to its endogenous content of bioactive compounds, such as sterols, coumarins, flavonoids, saponins, terpenoids, polysaccharides, and, mainly, alkylamides (Dallazen et al., 2020).

Among the alkyl amides, spilanthol ((E, E, Z)-2,6,8-decatrienoic acid N-isobutylamide) is considered the most active compound found in *S. oleracea*. Spilanthol is found mainly in the flowers, leaves, stems, and roots of *Spilanthus* (Dallazen et al., 2020; Lalthanpuui & Lalchhandama, 2020; Joshi et al., 2020).

Boontha et al. (2020) investigated crude jambu extract and found a phenolics content and antioxidant potential at IC₅₀ of 62.8 and 1.2 mg GAE/mL, respectively. The phenolics content is lower when compared to the result found in the present study (464.77 mg GAE g⁻¹), with consequent higher antioxidant potential (473.82 µmol TE g⁻¹), due to the higher concentration of total phenolic compounds in the jambu extract from the present research.

Swargiary et al. (2019) evaluated the phytochemical properties of *S. acmella* and reported that the jambu methanolic extract contained a high concentration of total phenolics (67 µg GAE/mg d.w.) and antioxidant potential by the DPPH, ABTS and superoxide anion scavenging activity, with IC₅₀ values of 730, 57, and 965 µg/mL, respectively. The authors observed a relationship between TPC and antioxidant potential, once a higher TPC content in the plant extract contributes to a higher antioxidant potential. The authors also pointed out that the greater antioxidant potential is due to the ability of phenolics to chelate metal ions during the formation of free radicals. Those results corroborate the potential of the jambu extract of this study.

The polyphenols in hibiscus play an important role as an anti-inflammatory agent, improving the antioxidant conditions and regulating the expression of cyclooxygenase-2 (El Bayani et al., 2018). Ojulari et al. (2019) reported that the bioactive compounds from hibiscus were also effective in acting against obesity, with a relevant decline in body weight, suppression of adipogenesis, and inhibition of lipid accumulation.

Plants and their extracts contain compounds that can improve the health state of individuals or reduce the risk of chronic diseases, with an emphasis for the phenolic compounds, which have shown immunoregulatory activity and preventive effects against cancer, diabetes, cardiovascular, and neurodegenerative diseases. These health benefits arise from the antioxidant potential of this compound, which plays a key role in metabolism and against oxidative stress (Shahidi et al., 2019; Borges et al., 2022; Kan et al., 2023; Pasquet et al., 2024).

Phenolic compounds can be consumed by direct absorption from plant-based food products, but also extracted from food by-products (plant extracts) and applied to food formulations to produce functional foods (Chawla et al., 2023).

Concerning the antioxidant potential of the extracts, the dried mate extract showed the highest activity by the FRAP assay, with 2539.94 µmol TE g⁻¹. Also, this extract exhibited the highest averages compared to the three methods used for assessing the antioxidant potential, with values of 1574.32 and 1048.92 µmol TE g⁻¹ by ABTS and DPPH, respectively. Mate was the herb with the highest phenolics content, which can explain its higher antioxidant potential.

The guarana extract showed the second highest antioxidant potential among the extracts studied, for the three methods applied in this study, with values of

1140.95 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$, 849.83 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$, and 834.79 $\mu\text{mol TE g}^{-1}$ for ABTS, DPPH, and FRAP assays, respectively.

Plants produce secondary metabolites called phenolic compounds that act in plant defense processes against pathogens, environmental stress and radiation, providing physical and chemical barriers, in addition to contributing to the color, aroma and flavor of these raw materials. The structure of phenolic compounds can vary widely, but they all share the presence of the phenol group, which consists of a benzene ring linked to a hydroxyl group (OH^-). This hydroxyl group is responsible for giving unique properties to phenolic compounds, such as antioxidant activity and the ability to form bonds with other molecules (Acosta-Estrada et al., 2014; Vuolo et al., 2019).

The structure of phenolic compounds can include several substituents linked to the benzene ring, which is related to their radical scavenging and/or metal chelating activity, making their antioxidant action quite dependent on their structure. With free hydroxyl groups (OH^-) in their structures, phenolics tend to exhibit strong antioxidant activity due to the ability of these groups to donate electrons. Therefore, the number of hydroxyl groups, their position in relation to the carboxyl functional group, glycosylation and the presence of substituents in the rings directly influence the antioxidant potential of phenolic compounds. (Oliveira et al., 2015; Franzen et al., 2021; Rasera et al., 2023).

Investigating the antioxidant potential and phenolic content of plant extracts is important for correlating the extract composition with health benefits (Magalhães & Santos, 2021). From a nutritional and pharmaceutical point of view, it is important to evaluate the antioxidant potential of phytochemicals in plant materials and their extracts (Schauss, 2016).

Significant differences were observed for the moisture contents of the extracts, with the highest and lowest contents observed for hibiscus and jambu extracts (Table 2), with values of 8.2 and 5.9 %, respectively. Moisture content is a critical parameter in plant material since a plant extract with low moisture is essential for maintaining chemical and microbiological stability (Gallo et al., 2015; Simen et al., 2016).

A well-dried extract decreases the risk of microbiological contamination and reduces the occurrence of redox reactions. Anthocyanins are sensitive to factors such

as temperature, light, pH, oxygen, and others (Lopes et al., 2020). Thus, liquid extracts should be subjected to freeze-drying process to preserve their chemical and pharmacological properties as well as their physicochemical and microbiological stability (Silva et al., 2019).

Significant differences were observed for the ash content of the extracts, which ranged from 0.04% to 10.41%. The hibiscus extract had the highest ash content, followed by dried mate and the guarana extracts, with 10.41, 8.12, and 3.57%, respectively. Mineral-rich plant extracts can be used to supplement diets lacking in essential nutrients. Minerals such as iron, zinc, calcium, magnesium, and potassium are vital for the proper functioning of the body and the prevention of nutritional deficiencies, including osteoporosis, anemia, and hypertension, among others (Bhardwaj et al., 2023; Sudha & Saral, 2023).

Some mineral elements are essential cofactors for isoenzymes such as superoxide dismutase, which may contribute to the *in vivo* antioxidant potential of the extracts (Huehne et al., 2020).

The guarana extract exhibited the highest protein content, with 20.97%. Protein is an essential nutrient for human growth and well-being. It is necessary for the body's regular biological functions and development, growth, maintenance, maturation, lactation, and reproduction, as well as protecting against cancers and diseases, and its shortage has negative impacts on the human diet (Wang et al., 2022; Zhao et al., 2023; Javed et al., 2024).

Concerning the jambu extract, it presented the highest lipid content with 19.72%. Lipids are the essential components of cell membranes and serve as the building blocks of biomolecules that enable cell function and health. This nutrient is part of the construction of cell membranes and the membranes of numerous essential organelles, such as mitochondria, the Golgi apparatus, and the endoplasmic reticulum (Gunay et al., 2021).

Lipids are mainly responsible for the juiciness, tenderness, smoothness, flavor, nutritional value, and storage stability of food products. In addition, plant-derived lipids have a completely different chemical composition and physicochemical properties from animal fats. The vast majority of vegetable oils are in a liquid state at room temperature, while animal fats are in a solid state (Chen et al., 2023).

Carbohydrates are an important source of energy in the human diet. The current global importance of healthy eating of these nutrients has focused on increasing the consumption of carbohydrates from different plant sources (Stylianopoulou, 2023). The açai and cinnamon extracts had the highest carbohydrate contents, with 90.19 and 88.51% respectively, with significant differences when compared to the other extracts. They are a significant source of micronutrients (vitamins and minerals) and phytochemicals. Consuming only a single food source of carbohydrates in diets can lead to nutritional deficiencies. Therefore, the intake of different carbohydrate sources is very important for nutrient sufficiency and health benefits (Stylianopoulou, 2023).

Vegetables are characterized by their low energy values. The jambu extract had the highest energy value with 474.84 kcal 100 g⁻¹, probably due to the high lipids content of this extract, which was used to calculate the energy value, along with the macronutrients (proteins, lipids, and carbohydrates). According to the North American National Research Council (1989), the recommended daily energy requirements for men and women aged from 19 and 24 years are 2,900 and 2,200 kcal, respectively. Thus, the results of the present study showed that consuming 100 g of jambu extract can provide 6.1 and 4.6% of the recommended daily energy intake for adult men and women, respectively.

The pH is a parameter that indicates the acidity or alkalinity of a substance or product. In foods and their by-products, pH plays a crucial role in various aspects, influencing both the chemical and sensory characteristics, as well as product safety and stability (Pasquet et al., 2024). The hibiscus and jambu extracts had the lowest pH values of 3.87 and 4.24, respectively, while the guarana, cinnamon, dried mate, and açai extracts presented the most alkaline pH, with values of 4.50, 4.40, 4.39, and 4.36, respectively.

The alkaline environment in phenolics-rich foods leads to the formation of quinones through auto-oxidation process, due to the phenol/phenolate ion balance, with a significant reduction of phenolic compounds in the food products (Liu et al., 2022; Pasquet et al., 2024). In turn, quinones are reactive species prone to polymerization, leading to undesirable browning of foods and a decrease in product quality (Ali et al., 2018; Geng et al., 2023).

Total soluble solids (°Brix) include components such as sugars, vitamins, and minerals. As shown in Table 2, the dried mate extract had the highest solids content, with 9.35 °Brix, while the guarana extract had the lowest solids value, with 6.25 °Brix. It is known that the extraction of plant extracts involves starch degradation and breakdown of the cell wall matrix, which is associated with an increase in total soluble solids (Shamili, 2019).

Particle size in food affects several parameters, including texture and sensory acceptance, as well as nutrient absorption in the digestive tract. This parameter is fundamental in the food industry to guarantee the quality and stability of products (Yao et al., 2023). The cinnamon extract had the largest particle size, with 89 µm, differing statistically from the other extracts, while the dried mate extract had the smallest particle size, with 43 µm.

A wide variety of powdered particulate raw materials is used in the food industry. To develop ingredients and products with specific desirable characteristics, it is necessary to understand the fundamental properties of particles and particulate food systems (López-Córdoba & Goyanes, 2017; Bazán-Colque et al., 2023).

Concerning the color of the extracts, the cinnamon extract showed greater luminosity (+L), close to white, with L-value of 67.88. In contrast, the jambu extract had lower L-value of 28.39, close to black tone. It is known that the color of plant extracts is influenced by the presence or absence of pigments from plants.

Table 2 presents the results of the physical-chemical analyses of the plant extracts researched in this study.

Tabela 5 - (Table 2 do artigo) Results of the physicochemical characterization, color parameters, and particle size of the plant extracts.

Constituent	Açaí	Cinnamon	Guarana	Hibiscus	Jambu	Dried Mate
Moisture ¹	6.67 ^d ± 0.089	7.12 ^c ± 0.087	7.50 ^b ± 0.040	8.22 ^a ± 0.099	5.90 ^e ± 0.127	7.45 ^b ± 0.128
Ash ¹	1.33 ^d ± 0.074	0.61 ^e ± 0.063	3.57 ^c ± 0.118	10.41 ^a ± 0.065	0.04 ^f ± 0.022	8.12 ^b ± 0.086
Proteins ¹	1.34 ^c ± 0.008	3.74 ^c ± 1.633	20.97 ^a ± 1.064	10.57 ^b ± 1.316	9.37 ^b ± 1.569	11.51 ^b ± 0.800
Lipids ¹	0.47 ^d ± 0.135	0.02 ^e ± 0.016	1.89 ^b ± 0.116	0.19 ^e ± 0.020	19.72 ^a ± 0.136	0.88 ^c ± 0.051
Total Carbohydrates ¹	90.19 ^a ± 0.204	88.51 ^a ± 1.647	66.07 ^c ± 1.033	70.61 ^b ± 1.330	64.97 ^c ± 1.680	72.04 ^b ± 0.740
Energy Value ²	370.34 ^b ± 0.575	369.19 ^b ± 0.142	365.17 ^c ± 0.977	326.44 ^e ± 0.168	474.84 ^a ± 1.048	342.14 ^d ± 0.794
pH	4.36 ^{ab} ± 0.036	4.40 ^a ± 0.065	4.50 ^a ± 0.104	3.87 ^c ± 0.093	4.24 ^b ± 0.031	4.39 ^{ab} ± 0.030
Total soluble solids (°Brix)	8.15 ^e ± 0.058	8.70 ^c ± 0.000	6.25 ^f ± 0.058	8.55 ^d ± 0.058	9.05 ^b ± 0.058	9.35 ^a ± 0.058
L*	45.39 ^d ± 0.414	67.88 ^a ± 0.163	52.89 ^c ± 1.693	37.14 ^e ± 1.402	28.39 ^f ± 0.224	58.61 ^b ± 0.713
a*	15.64 ^b ± 0.066	14.04 ^c ± 0.106	15.93 ^b ± 1.317	17.54 ^a ± 0.364	1.26 ^e ± 0.046	6.58 ^d ± 0.326
b*	3.53 ^d ± 0.141	20.44 ^b ± 0.098	19.48 ^c ± 1.252	2.37 ^e ± 0.588	-1.48 ^f ± 0.023	22.61 ^a ± 0.481
c*	16.03 ^d ± 0.083	24.80 ^a ± 0.138	25.21 ^a ± 0.692	17.71 ^c ± 0.424	1.94 ^e ± 0.046	23.55 ^b ± 0.545
h°	12.71 ^e ± 0.475	55.51 ^c ± 0.090	50.71 ^d ± 3.843	7.66 ^f ± 1.758	310.27 ^a ± 0.710	73.78 ^b ± 0.481
Particle size diameter (µm)	57 ^b ± 3.304	89 ^a ± 4.646	51 ^b ± 4.573	44 ^{bc} ± 2.449	NP	43 ^c ± 1.708

Source: the authors.

ND = not determined due to the liquid nature of the extract. Data expressed as mean ± standard deviation. Means within the same line with different letters are significantly different at the 5% level, by the Tukey test (p-value < 0.05). ¹ = (g/100 g). ² = (kcal/100 g).

L*: 0 = black and 100 = white; a*: +a = red and -a = green; b*: +b = yellow and -b = blue; c*: chroma; h°: hue angle.

When the plant extract is included in food formulations, the resulting color has an impact on the sensory acceptance of the food product. In this study, three extracts showed high luminosity, including cinnamon, dried mate, and guarana extracts, while açai, hibiscus, and jambu extracts showed low luminosity. All extracts differed statistically for the color parameter L.

Saikia et al., (2015) reported high luminosity of dried carambola pomace extract, which is rich in polyphenols. In the present study, positive a^* and b^* values were observed for all the powders, except for the jambu extract, which showed values close to zero and negative values, corresponding to a darker green and bluish color.

The addition of this extract to food formulations can improve the attractiveness of the product. Color is one of the most important sensory attributes of food and has a significant influence on its attractiveness and acceptance by consumers. The visual appearance of a food is the consumer's first contact, and the initial perception is based on color (Lan et al., 2022; Ghosh et al., 2023).

Plant extracts can also be used as natural colorings in foods. These colorants are categorized based on their origin, hue, or chemical structure. Sigurdson et al. (2017) demonstrated the classification of natural colorants as isoprenoid derivatives (carotenoids), flavonoid derivatives (anthocyanins), heterocyclic nitrogen derivatives (betalains), and pyrrole derivatives (chlorophyll). In addition, there are other natural colorants such as phycobiliproteins, alizarin, curcumin, etc (Parlak et al., 2023).

Concerning the elemental composition, no significant amounts of minerals were observed for the açai, and cinnamon extracts when compared to the guarana, hibiscus, and dried mate extracts. The jambu extract had a liquid nature, thus it was not analyzed for the elemental composition once the technique was suitable only for powdered or solid materials.

Minerals represent 1-2% of fresh foods. Plants are characterized by low sodium and high potassium contents. They also contribute to the daily intake of calcium, phosphorus, magnesium, iron, and zinc. Although there is a low bioavailability of iron in this food group, vitamin C can contribute to an increase in its absorption. The most representative anions are phosphate, chloride, and carbonate (Ruiz-López & Ruiz, 2023).

The high-resolution XPS scans of carbon (C 1s), oxygen (O 1s), and nitrogen (N 1s) ranged from 282 to 291, 529 to 537, and 392 to 410 eV, respectively.

The XPS methodology provides information on the atomic composition, expressed in percentage of atomic weight, and the type of chemical bond (Lawrie et al., 2007; Silva et al., 2022).

The extracts showed element fractions characteristic of plant raw materials, as can be seen in Table 3.

Tabela 6 - (Table 3 do artigo) Elemental composition of guarana, hibiscus, and dried mate extracts by X-ray photoelectron spectroscopy (XPS).

Elements (w%)	Guarana	Hibiscus	Dried Mate
C 1s	73.38	61.10	63.88
O 1s	22.19	33.65	33.90
N 1s	4.44	4.40	2.22
Ca 2p	-	0.59	-
P 2p	-	0.26	-

w% = atomic weight %; C = carbon; O = oxygen; N = nitrogen; Ca = calcium; P = phosphorus. Source: the authors.

The guarana extract is composed of carbon (C 1s, 282 to 291 eV), oxygen (O 1s, 529 to 536 eV), and nitrogen (N 1s, 392 to 410 eV). The hibiscus extract showed the highest concentration of chemical elements, probably due to its higher ash content when compared to the other extracts studied. In turn, the hibiscus extract is composed of carbon (C 1s, 282 to 294 eV), oxygen (O 1s, 529 to 537 eV), nitrogen (N 1s, 397 to 405 eV), calcium (Ca 2p, 344 to 360 eV) and phosphorus (P 2p, 130 to 138 eV). Finally, the dried mate extract is composed of carbon (C 1s, 282 to 298 eV), oxygen (O 1s, 529 to 537 eV), and nitrogen (N 1s, 392 to 410 eV).

The C 1s and O 1s scans of the extracts showed binding energies characteristic of hydrocarbons (CH- and C-C, ~284 eV) and carboxyl groups (RO-C=O, ~533 eV). N 1s scans show binding energies for the amine group (C-NH₂, ~400 eV). For the hibiscus extract, calcium (Ca 2p, ~347 eV) and phosphorus (P 2p, ~134 eV) fractions were found, which include chemical compounds such as carbonate, nitrate, and calcium oxide as well as phosphate and phosphide ions (Silva et al., 2022).

The C 1s binding energy distributions (high-resolution scans) showed an increase in peak intensity at ~285 eV and a decrease at ~287 eV, corresponding to hydrocarbons. On the other hand, the O 1s high-resolution scans showed a high intensity of peaks near 533 eV, which referred to carboxyl groups. According to Sari & Chellam (2013), the increase in the content of hydrocarbon groups with an N 1s atom

may be due to the amino acid side chain, while the increase in carboxyl groups may be due to the deposition of mixtures of bitter compounds and sugars.

The aromas and flavors of food are made up of various chemical elements that bind together to form various compounds, including volatile substances (De Morais et al., 2023).

The extracts in this study had significant concentrations of carbon (C), oxygen (O), and nitrogen (N), which belong to various classes of organic compounds. The specific characteristics of aromas and flavors depend on the unique molecular structure of each compound and their relative concentrations in a given substance. Therefore, the plant extracts should be characterized from the chemical point of view aimed to use them as ingredients in food products to enhance or intensify aromas, and flavors, as well as provide color to the product.

Conclusion

The phenolic contents and the antioxidant potential of the plant extracts differed greatly depending on the plant species. The dried mate extract showed the highest content of phenolic compounds and antioxidant potential.

The plant extracts studied presented good sources of phenolic compounds, with important antioxidant potential that can be considered beneficial for health, such as guarana and dried mate extracts. Regular consumption of foods rich in phenolic compounds is associated with several health benefits, such as reducing the risk of cardiovascular disease, cancer, diabetes and other chronic conditions.

The physicochemical characterization of the plant extracts showed a large amount of nutrients with low energy values that are important for the diet. The hibiscus extract had the higher ash content and the higher concentration of chemical elements, as well as a more acidic profile (lower pH) among the extracts studied. The guarana extract had the highest protein content, while jambu extract had the highest lipids content and energy value. On the other hand, the açai and cinnamon extracts had the highest carbohydrate contents.

Concerning the color of the extracts, the cinnamon, guarana, and dried mate extracts exhibited lighter color, while the açai, hibiscus, and jambu extracts were darker. Regarding the particle size, the cinnamon extract had the higher particle size while the dried mate extract had the smaller particle size among the extracts studied.

The elemental analysis of the extracts showed chemical elements characteristic of aromas and flavors, as a function of the chemical bonds that form the compounds.

The physicochemical and nutritional results of this research showed the effectiveness of using plant extracts as coloring agents and ingredients in food formulations, which may be an interesting strategy in the food industry.

Acknowledgements

The authors are grateful to CAPES with Finance Code 001 for the financial and fellowship support, and the Centroflora/Givaudan® Group for preparing and donating the plant extracts used in this research. This research used facilities of the Brazilian Nanotechnology National Laboratory (LNNano), part of the Brazilian Centre for Research in Energy and Materials (CNPEM), under the supervision of the Brazilian Ministry for Science, Technology, and Innovations (MCTI).

Declaration of conflict of interest

The authors declare no conflict of interest. The founding sponsors had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, and in the decision to publish the results.

Authors' contributions

All authors contributed equally for the conception and writing of the manuscript. All authors critically revised the manuscript and approved of the final version.

References

- Acosta-Estrada, B. A., Gutiérrez-Urbe, J. A., & Serna-Saldívar, S. O. (2014). Bound phenolics in foods, a review. *Food chemistry*, 152, 46-55. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.11.093> doi: 10.1016/j.foodchem.2013.11.093
- Al-Duais, M., Müller, L., Böhm, V., & Jetschke, G. (2009). Antioxidant capacity and total phenolics of *Cyphostemma digitatum* before and after processing: use of different assays. *European food research and technology*, 228, 813-821. Available from: <https://doi.org/10.1007/s00217-008-0994-8> doi: 10.1007/s00217-008-0994-8
- Ali, M., Keppler, J. K., Coenye, T., & Schwarz, K. (2018). Covalent whey protein–rosmarinic acid interactions: a comparison of alkaline and enzymatic modifications on physicochemical, antioxidative, and antibacterial properties. *Journal of Food*

Science, 83(8), 2092-2100. Available from: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14222>
doi: 10.1111/1750-3841.14222

Antunes, A., Cardoso, D. S., & Paula, C. S. (2018). Efeito da *Ilex paraguariensis* a. St. Hil.(Erva Mate) no controle da obesidade. *Visão Acadêmica*, 18(1). Available from: <https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/52724> doi: <http://dx.doi.org/10.5380/acd.v18i1.52724>

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (2005). *Official methods of analysis of the association of analytical chemists*. Association of Official Analytical Chemists. Available from: <https://www.aoac.org/official-methods-of-analysis/>

Bazán-Colque, R. J., Ascheri, J. L. R., Ruiz-Barreto, F. I., & Ascheri, D. P. R. (2023). Investigation of the effect of particle size of corn fiber, as potential raw material, on techno-functional and physicochemical properties. *Journal of Cereal Science*, 112, 103708. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103708> doi: 10.1016/j.jcs.2023.103708

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76. Available from: <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292> doi: 10.1006/abio.1996.0292

Bhardwaj, A. K., Kashyap, N. K., Bera, S. K., Hait, M., & Dewangan, H. (2023). Proximate composition and mineral content analysis of *Curcuma caesia* rhizome. *Biochemical Systematics and Ecology*, 109, 104661. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104661> doi: 10.1016/j.bse.2023.104661

Bligh, E. G., & Dyer, W. J. (1959). A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian journal of biochemistry and physiology*, 37(8), 911-917. Available from: <https://doi.org/10.1139/o59-099> doi: 10.1139/o59-099

Blum-Silva, C. H., Chaves, V. C., Schenkel, E. P., Coelho, G. C., & Reginatto, F. H. (2015). The influence of leaf age on methylxanthines, total phenolic content, and free radical scavenging capacity of *Ilex paraguariensis* aqueous extracts. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(1), 1-6. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2015.01.002> doi: 10.1016/j.bjp.2015.01.002

Bojić, M., Simon Haas, V., Šarić, D., & Maleš, Ž. (2013). Determination of flavonoids, phenolic acids, and xanthines in Mate Tea (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.). *Journal of analytical methods in Chemistry*, 2013(1), 658596. Available from: <https://doi.org/10.1155/2013/658596> doi: 10.1155/2013/658596

Boontha, S., Thoedyotin, T., Saengtabtim, T., Im-erb, P., Chaniad, N., Buranrat, B., & Pitaksuteepong, T. (2020). Cytotoxic, colony formation and anti-migratory effects of *Spilanthes acmella* (Asteraceae) aerial extract on MCF-7 cells and its cream formulation. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 19(1), 17-24. Available from: <http://dx.doi.org/10.4314/tjpr.v19i1.3> doi: 10.4314/tjpr.v19i1.3

Borges, L. L. R., de Oliveira, L. L., Freitas, V. V., Júnior, B. R. D. C. L., Nascimento, A. L. A. A., Castro, G. A. D., ... & Stringheta, P. C. (2022). Digestive enzymes inhibition, antioxidant and antiglycation activities of phenolic compounds from jabuticaba (*Plinia*

cauliflora) peel. *Food Bioscience*, 50, 102195. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102195> doi: 10.1016/j.fbio.2022.102195

Braghini, F., de Carli, C. G., Bonsaglia, B., Junior, J. F. D. S. S., de Oliveira, D. F., Tramujas, J., & Tonial, I. B. (2014). Composição físico-química de erva-mate, antes e após simulação do chimarrão. *Pesquisa Agropecuária Gaúcha*, 20(1/2), 7-15. Available from: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/63>

Cardozo Junior, E. L., & Morand, C. (2016). Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health—A review. *Journal of functional foods*, 21, 440-454. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.010> doi: 10.1016/j.jff.2015.12.010

Cardozo, A. G. L., Rosa, R. L. D., Novak, R. S., Folquitto, D. G., Schebelski, D. J., Brusamarello, L. C. C., & Ribeiro, D. T. B. (2021). Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-hil.): a comprehensive review on chemical composition, health benefits and recent advances. Available from: doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i11.20036> doi: 10.33448/rsd-v10i11.20036

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. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113075> doi: 10.1016/j.foodres.2023.113075

Chen, N. H., & Wei, S. (2017). Factors influencing consumers' attitudes towards the consumption of edible flowers. *Food Quality and Preference*, 56, 93-100. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.10.001> doi: 10.1016/j.foodqual.2016.10.001

Chen, Q., Chen, Z., Zhang, J., Wang, Q., & Wang, Y. (2023). Application of lipids and their potential replacers in plant-based meat analogs. *Trends in Food Science & Technology*. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.07.007> doi: 10.1016/j.tifs.2023.07.007

Chuesiang, P., Siripatrawan, U., Sanguandeeikul, R., Yang, J. S., McClements, D. J., & McLandsborough, L. (2019). Antimicrobial activity and chemical stability of cinnamon oil in oil-in-water nanoemulsions fabricated using the phase inversion temperature method. *Lwt*, 110, 190-196. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.012> doi: 10.1016/j.lwt.2019.03.012

Da Silva, R. T., Bersaneti, G. T., Chideroli, R. T., de Pádua Pereira, U., Lonni, A. A. S. G., Bigotto, B. G., & Celligoi, M. A. P. C. (2020). Propriedades biológicas da levana de *Bacillus subtilis* natto e do óleo essencial de canela para aplicação em formulações cosmeceúicas. *Brazilian Journal of Development*, 6(5), 23009-23024.. Available from: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-015> doi: 10.34117/bjdv6n5-015

Dallazen, J. L., Maria-Ferreira, D., da Luz, B. B., Nascimento, A. M., Cipriani, T. R., de Souza, L. M., ... & de Paula Werner, M. F. (2020). Pharmacological potential of alkylamides from *Acmella oleracea* flowers and synthetic isobutylalkyl amide to treat inflammatory pain. *Inflammopharmacology*, 28, 175-186. Available from:

<https://doi.org/10.1007/s10787-019-00601-9> doi: 10.1007/s10787-019-00601-9.

De Jesus, A. L. T., Cristianini, M., Dos Santos, N. M., & Júnior, M. R. M. (2020). Effects of high hydrostatic pressure on the microbial inactivation and extraction of bioactive compounds from açai (*Euterpe oleracea* Martius) pulp. *Food research international*, 130, 108856. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108856> doi: 10.1016/j.foodres.2019.108856

De Moraes, S. B., Florentino, B. M., Marinsek, S. R. M., de Rezende Bastos, A. A., & Quirino, B. F. (2023). The Potential of β -glucosidases for Aroma and Flavor Improvement in the Food Industry. *The Microbe*, 100004. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.microb.2023.100004> doi: 10.1016/j.microb.2023.100004

El Bayani, G. F., Marpaung, N. L. E., Simorangkir, D. A. S., Sianipar, I. R., Ibrahim, N., Kartinah, N. T., & Ilyas, E. I. I. (2018). Anti-inflammatory effects of *Hibiscus Sabdariffa* Linn. on the IL-1 β /IL-1 α ratio in plasma and hippocampus of overtrained rats and correlation with spatial memory. *Kobe Journal of Medical Sciences*, 64(2), E73. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6347049/>

Fagundes, A., Schmitt, V., Danguy, L. B., & Mazur, C. E. (2015). *Ilex Paraguariensis*: composto bioativos e propriedades nutricionais na saúde. *RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento*, 9(53), 213-222. Available from: <https://www.rbone.com.br/index.php/rbone/article/view/394>

Franzen, F. L., Menegaes, J. F., da Rosa, J. R., Pigatto, G. M., Lidório, H. F., Backes, F. A. A. L., & de Oliveira, M. S. R. (2021). Antioxidant and Antimicrobial Activity of Edible Flower Extracts Obtained by Different Extraction Methods. *Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 25(4), 513-520. Available from: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n4p513-520> doi: 10.17921/1415-6938.2021v25n4p513-520

Franzen, F. L., Rodríguez de Oliveira, M. S., Lidório, H. F., Farias Menegaes, J., & Martins Fries, L. L. (2019). Composición química de pétalos de flores de rosa, girasol y caléndula para su uso en la alimentación humana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 20(1), 149-168. Available from: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1252 doi: 10.21930/rcta.vol20_num1_art:1252

Franzen, F. L., de Oliveira, M. S. R., Menegaes, J. F., Gusso, A. P., da Silva, M. N., & dos Santos Richards, N. S. P. (2020). Physico-chemical, microbiological and sensory characteristics of jellies made with rose and hibiscus flowers. *Brazilian Journal of Development*, 6(3), 14828-14845. Available from: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n3-377> doi: 10.34117/bjdv6n3-377

Gallo, L., Ramírez-Rigo, M. V., Piña, J., & Bucalá, V. (2015). A comparative study of spray-dried medicinal plant aqueous extracts. Drying performance and product quality. *Chemical Engineering Research and Design*, 104, 681-694. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2015.10.009> doi: 10.1016/j.cherd.2015.10.009

Gambero, A., & Ribeiro, M. L. (2015). The positive effects of yerba maté (*Ilex paraguariensis*) in obesity. *Nutrients*, 7(2), 730-750. Available from:

<https://doi.org/10.3390/nu7020730> doi: 10.3390/nu7020730

Geng, Y., Xu, Z., Yu, Y., Yao, J., Li, W., Chen, F., & Ma, L. (2023). Investigation of the Quinone-quinone and Quinone-catechol products using ^{13}C labeling, UPLC-Q-TOF/MS and UPLC-Q-Exactive Orbitrap/MS. *Food Research International*, 164, 112397. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112397> doi: 10.1016/j.foodres.2022.112397

Ghosh, S., Sarkar, T., & Chakraborty, R. (2023). Underutilized plant sources: A hidden treasure of natural colors. *Food Bioscience*, 52, 102361. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102361> doi: 10.1016/j.fbio.2023.102361

Gomes, P. R. B., da Costa Leite Júnior, J. D. D., de Sousa, D. A., Oliveira Everton, G., Batista Reis, J., Costa Louzeiro, H., & Mouchrek Filho, V. E. (2020). Estudo da composição química, toxicidade e atividade moluscicida do óleo essencial *Citrus sinensis* (L.) Osbeck. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 49(1), 28-43. Available from: <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v48n1.80069> doi: 10.15446/rcciquifa.v48n1.80069

Granato, D., Shahidi, F., Wrolstad, R., Kilmartin, P., Melton, L. D., Hidalgo, F. J., ... & Finglas, P. (2018). Antioxidant activity, total phenolics and flavonoids contents: Should we ban in vitro screening methods?. *Food chemistry*, 264, 471-475. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.012> doi: 10.1016/j.foodchem.2018.04.012

Gunay, A., Shin, H. H., Gozutok, O., Gautam, M., & Ozdinler, P. H. (2021, April). Importance of lipids for upper motor neuron health and disease. In *Seminars in cell & developmental biology* (Vol. 112, pp. 92-104). Academic Press. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.semcd.2020.11.004> doi: 10.1016/j.semcd.2020.11.004

Hertz, E., Cadoná, F. C., Machado, A. K., Azzolin, V., Holmrich, S., Assmann, C., ... & Da Cruz, I. B. M. (2015). Effect of *Paullinia cupana* on MCF-7 breast cancer cell response to chemotherapeutic drugs. *Molecular and Clinical Oncology*, 3(1), 37-43. Available from: <https://doi.org/10.3892/mco.2014.438> doi: 10.3892/mco.2014.438

Huehne, P. S., Bhinija, K., Srisomsap, C., Chokchaichamnankit, D., Weeraphan, C., Svasti, J., & Mongkolsuk, S. (2020). Detection of superoxide dismutase (Cu-Zn) isoenzymes in leaves and pseudobulbs of *Bulbophyllum morphologlorum* Kraenzl orchid by comparative proteomic analysis. *Biochemistry and Biophysics Reports*, 22, 100762. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2020.100762> doi: 10.1016/j.bbrep.2020.100762

Husin, N. N. A., Balkis, B. S., Abd Hamid, Z., Abd Rahman, M., Louis, S. R., Osman, M., ... & Mohamed, J. (2017). Aqueous calyxes extract of Roselle or Hibiscus sabdariffa Linn supplementation improves liver morphology in streptozotocin induced diabetic rats. *Arab Journal of Gastroenterology*, 18(1), 13-20. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ajg.2017.02.001> doi: 10.1016/j.ajg.2017.02.001

Javed, M. S., Alvi, S. Q., Amjad, A., Sardar, H., Anwar, M. J., Javid, A., & Abdelgawad, H. (2024). Protein extracted from *Moringa oleifera* Lam. Leaves: Bio-evaluation and characterization as suitable plant-based meat-protein alternative. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 146, 105536. Available from:

<https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2023.105536> doi: 10.1016/j.yrtph.2023.105536

Joshi, V., Sharma, G. D., & Jadhav, S. K. (2020). Alkamides: Multifunctional bioactive agents in *Spilanthes* spp. *J. Sci. Res*, 64, 198-206. Available from: <http://dx.doi.org/10.37398/JSR.2020.640129> doi: 10.37398/JSR.2020.640129.

Kan, J., Cao, M., Chen, C., Gao, M., Zong, S., Zhang, J., & Jin, C. (2023). In vitro antioxidant and lipid-lowering properties of free and bound phenolic compounds from buckwheat hulls. *Food Bioscience*, 53, 102725. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102725> doi: 10.1016/j.fbio.2023.102725

Kaulika, N., & Febriansah, R. (2019). Chemopreventive activity of roselle's hexane fraction against breast cancer by in-vitro and in-silico study. In *Third international conference on sustainable innovation 2019–health science and nursing (IcoSIHSN 2019)* (pp. 66-71). Atlantis Press. Available from: <https://doi.org/10.2991/icosihsn-19.2019.16> doi: 10.2991/icosihsn-19.2019.16.

Kober, H., Tatsch, E., Torbitz, V. D., Cargnin, L. P., Sangoi, M. B., Bochi, G. V., & Moresco, R. N. (2016). Genoprotective and hepatoprotective effects of Guarana (*Paullinia cupana* Mart. var. *sorbilis*) on CCl₄-induced liver damage in rats. *Drug and Chemical Toxicology*, 39(1), 48-52. Available from: <https://doi.org/10.3109/01480545.2015.1020546> doi: 10.3109/01480545.2015.1020546

Lalthanpuui, P. B., Zokimi, Z., & Lalchhandama, K. (2020). The toothache plant (*Acmella oleracea*) exhibits anthelmintic activity on both parasitic tapeworms and roundworms. *Pharmacognosy Magazine*, 16(68). Available from: http://dx.doi.org/10.4103/pm.pm_321_19 doi: 10.4103/pm.pm_321_19.

Lalthanpuui, P. B., & Lalchhandama, K. (2020). Chemical composition and broad-spectrum anthelmintic activity of a cultivar of toothache plant, *Acmella oleracea*, from Mizoram, India. *Pharmaceutical Biology*, 58(1), 393-399. Available from: <https://doi.org/10.1080/13880209.2020.1760316> doi: 10.1080/13880209.2020.1760316.

Lan, T., Wang, J., Yuan, Q., Lei, Y., Peng, W., Zhang, M., & Ma, T. (2022). Evaluation of the color and aroma characteristics of commercially available Chinese kiwi wines via intelligent sensory technologies and gas chromatography-mass spectrometry. *Food Chemistry: X*, 15, 100427. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100427> doi: 10.1016/j.fochx.2022.100427

Lawrie, G., Keen, I., Drew, B., Chandler-Temple, A., Rintoul, L., Fredericks, P., & Grøndahl, L. (2007). Interactions between alginate and chitosan biopolymers characterized using FTIR and XPS. *Biomacromolecules*, 8(8), 2533-2541. Available from: <https://doi.org/10.1021/bm070014y> doi: 10.1021/bm070014y

Liu, X., Chen, D., Yang, Z., Chen, F., Hu, X., Xiao, Z., & Ma, L. (2022). Non-enzymatic browning induced by chlorogenic acid quinone mediated catechin oxidation. *Food Research International*, 156, 111297. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111297> doi: 10.1016/j.foodres.2022.111297

Lopes, D. C. D. X. P., Pereira, C. D. S., Castilho, C. V. V., Pietroluongo, M., Matos, A.

P. D. S., Guimarães, T. F., & Viçosa, A. L. (2020). Critical parameters for the development of standardized dry herbal extracts obtained by spray-drying: from research to manufacturing reality. Available from: <https://doi.org/10.14450/2318-9312.v32.e4.a2020.pp391-403> doi: 10.14450/2318-9312.v32.e4.a2020.pp391-403

López-Córdoba, A. F., & Goyanes, S. N. (2017). Food powder properties. Available from: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/131720>

Machado, A. K., Cadoná, F. C., Azzolin, V. F., Dornelles, E. B., Barbisan, F., Ribeiro, E. E., & da Cruz, I. B. M. (2015). Guaraná (*Paullinia cupana*) improves the proliferation and oxidative metabolism of senescent adipocyte stem cells derived from human lipoaspirates. *Food Research International*, 67, 426-433. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.056> doi: 10.1016/j.foodres.2014.11.056

Magalhães, B. D., & Santos, W. D. (2021). Capacidade antioxidante e conteúdo fenólico de infusões e decocções de ervas medicinais. *Almeida Júnior, S. Produtos Naturais e Suas Aplicações: da comunidade para o laboratório. Guarujá, SP: Científica Digital*, 234-247. Available from: <https://dx.doi.org/10.37885/210203148> doi: 10.37885/210203148

Maggini, V., Bettini, P., Firenzuoli, F., & Bogani, P. (2021). An efficient method for the genetic transformation of *Acmella oleracea* L. (*Spilanthes acmella* Linn.) with *Agrobacterium tumefaciens*. *Plants*, 10(2), 198. Available from: <https://doi.org/10.3390/plants10020198> doi: 10.3390/plants10020198

Magro, A. E. A., & De Castro, R. J. S. (2020). Effects of solid-state fermentation and extraction solvents on the antioxidant properties of lentils. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 28, 101753. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101753> doi: 10.1016/j.bcab.2020.101753

Marques, L. L. M., Ferreira, E. D. F., de Paula, M. N., Klein, T., & de Mello, J. C. P. (2019). *Paullinia cupana*: a multipurpose plant—a review. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29(1), 77-110. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2018.08.007> doi: 10.1016/j.bjp.2018.08.007

Mateos, R., Baeza, G., Sarriá, B., & Bravo, L. (2018). Improved LC-MSn characterization of hydroxycinnamic acid derivatives and flavonols in different commercial mate (*Ilex paraguariensis*) brands. Quantification of polyphenols, methylxanthines, and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 241, 232-241. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.085> doi: 10.1016/j.foodchem.2017.08.085

Matsuura, E., Godoy, J. S. R., de Souza Bonfim-Mendonça, P., de Mello, J. C. P., Svidzinski, T. I. E., Gasparetto, A., & Maciel, S. M. (2015). In vitro effect of *Paullinia cupana* (guaraná) on hydrophobicity, biofilm formation, and adhesion of *Candida albicans* to polystyrene, composites, and buccal epithelial cells. *Archives of oral biology*, 60(3), 471-478. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.archoralbio.2014.05.026> doi: 10.1016/j.archoralbio.2014.05.026

Monge-Fuentes, V., Muehlmann, L. A., Longo, J. P. F., Silva, J. R., Fascineli, M. L., de

Souza, P., & Azevedo, R. B. (2017). Photodynamic therapy mediated by acai oil (*Euterpe oleracea* Martius) in nanoemulsion: A potential treatment for melanoma. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 166, 301-310. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.12.002> doi: 10.1016/j.jphotobiol.2016.12.002

Nabavi, S. F., Di Lorenzo, A., Izadi, M., Sobarzo-Sánchez, E., Daglia, M., & Nabavi, S. M. (2015). Antibacterial effects of cinnamon: From farm to food, cosmetic and pharmaceutical industries. *Nutrients*, 7(9), 7729-7748. Available from: <https://doi.org/10.3390/nu7095359> doi: 10.3390/nu7095359

National Research Council, Commission on Life Sciences, & Subcommittee on the Tenth Edition of the Recommended Dietary Allowances. (1989). Recommended dietary allowances.

Ojulari, O. V., Lee, S. G., & Nam, J. O. (2019). Beneficial effects of natural bioactive compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. on obesity. *Molecules*, 24(1), 210. Available from: <https://doi.org/10.3390/molecules24010210> doi: 10.3390/molecules24010210

Oliveira, C. C. D., Calado, V. M. D. A., Ares, G., & Granato, D. (2015). Statistical approaches to assess the association between phenolic compounds and the in vitro antioxidant activity of *Camellia sinensis* and *Ilex paraguariensis* teas. *Critical reviews in food science and nutrition*, 55(10), 1456-1473. Available from: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.750233> doi: 10.1080/10408398.2012.750233

Oliveira, N. K., Almeida, M. R. S., Pontes, F. M. M., Barcelos, M. P., de Paula da Silva, C. H. T., Rosa, J. M. C., & da Silva Hage-Melim, L. I. (2019). Antioxidant effect of flavonoids present in *Euterpe oleracea* Martius and neurodegenerative diseases: A literature review. *Central Nervous System Agents in Medicinal Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Central Nervous System Agents)*, 19(2), 75-99. Available from: <https://doi.org/10.2174/1871524919666190502105855> doi: 10.2174/1871524919666190502105855

Parlak, M. E., Sahin, O. I., Dundar, A. N., Saricaoglu, F. T., Smaoui, S., Goksen, G., & Nirmal, N. P. (2023). Natural colorant incorporated biopolymers-based pH-sensing films for indicating the food product quality and safety. *Food Chemistry*, 138160. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.138160> doi: 10.1016/j.foodchem.2023.138160

Pasquet, P. L., Julien-David, D., Zhao, M., Villain-Gambier, M., & Trébouet, D. (2024). Stability and preservation of phenolic compounds and related antioxidant capacity from agro-food matrix: Effect of pH and atmosphere. *Food Bioscience*, 57, 103586. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103586> doi: 10.1016/j.fbio.2024.103586

Pereira, G. A., Arruda, H. S., & Pastore, G. M. (2018). Modification and validation of Folin-Ciocalteu assay for faster and safer analysis of total phenolic content in food samples. 125-140. Available from: <https://doi.org/10.3895/rebrapa.v9n1.6062> doi: 10.3895/rebrapa.v9n1.6062

Rasera, G. B., Hilkner, M. H., de Alencar, S. M., & de Castro, R. J. S. (2019).

Biologically active compounds from white and black mustard grains: an optimization study for recovery and identification of phenolic antioxidants. *Industrial Crops and Products*, 135, 294-300. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.04.059> doi: 10.1016/j.indcrop.2019.04.059

Rasera, G. B., de Camargo, A. C., & de Castro, R. J. S. (2023). Bioaccessibility of phenolic compounds using the standardized INFOGEST protocol: A narrative review. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 22(1), 260-286. Available from: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13065> doi: 10.1111/1541-4337.13065

Roggia, I., Dalcin, A. J. F., de Souza, D., Machado, A. K., de Souza, D. V., da Cruz, I. B. M., & Gomes, P. (2020). Guarana: Stability-Indicating RP-HPLC method and safety profile using microglial cells. *Journal of Food Composition and Analysis*, 94, 103629. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629> doi: 10.1016/j.jfca.2020.103629

Ruiz-López, M. D., & Ruiz, B. G. V. (2023). Fruits and vegetables. Editor(s): B. Caballero. *Encyclopedia of Human Nutrition (Fourth Edition)*. pp. 397-411. 2023. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00124-4> doi: 10.1016/B978-0-12-821848-8.00124-4

Saikia, S., Mahnot, N. K., & Mahanta, C. L. (2015). Optimisation of phenolic extraction from Averrhoa carambola pomace by response surface methodology and its microencapsulation by spray and freeze drying. *Food chemistry*, 171, 144-152. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.08.064> doi: 10.1016/j.foodchem.2014.08.064

Santana, Á. L., Queirós, L. D., Martínez, J., & Macedo, G. A. (2019). Pressurized liquid- and supercritical fluid extraction of crude and waste seeds of guarana (Paullinia cupana): Obtaining of bioactive compounds and mathematical modeling. *Food and bioprocesses processing*, 117, 194-202. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.07.007> doi: 10.1016/j.fbp.2019.07.007

Santana, A. L., & Macedo, G. A. (2018). Health and technological aspects of methylxanthines and polyphenols from guarana: A review. *Journal of Functional Foods*, 47, 457-468. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.05.048> doi: 10.1016/j.jff.2018.05.048

Santos, K. L. D. O., Daccache, I. S. C., & de Castro, R. J. S. (2022). Synergistic Action of Multiple Enzymes Resulting in Efficient Hydrolysis of Banana Bracts and Products with Improved Antioxidant Properties. *Processes*, 10(9), 1807. Available from: <https://doi.org/10.3390/pr10091807> doi: 10.3390/pr10091807

Sari, M. A., & Chellam, S. (2013). Surface water nanofiltration incorporating (electro) coagulation–microfiltration pretreatment: Fouling control and membrane characterization. *Journal of Membrane Science*, 437, 249-256. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2013.02.050> doi: 10.1016/j.memsci.2013.02.050

Schauss, A. G. (2016). Advances in the study of the health benefits and mechanisms of action of the pulp and seed of the Amazonian palm fruit, Euterpe oleracea Mart.,

known as "Açaí". *Fruits, Vegetables, and Herbs*, 179-220. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802972-5.00010-X> doi: 10.1016/B978-0-12-802972-5.00010-X

Shahidi, F., Varatharajan, V., Oh, W. Y., & Peng, H. (2019). Phenolic compounds in agri-food by-products, their bioavailability and health effects. *Food Bioact*, 5(1), 57-119. Available from: <https://doi.org/10.31665/JFB.2019.5178> doi: 10.31665/JFB.2019.5178

Shamili, M. (2019). The estimation of mango fruit total soluble solids using image processing technique. *Scientia Horticulturae*, 249, 383-389. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.02.013> doi: 10.1016/j.scienta.2019.02.013

Sigurdson, G. T., Tang, P., & Giusti, M. M. (2017). Natural colorants: Food colorants from natural sources. *Annual review of food science and technology*, 8(1), 261-280. Available from: <https://doi.org/10.1146/annurev-food-030216-025923> doi: 10.1146/annurev-food-030216-025923

Silva, H. R. D., Assis, D. D. C. D., Prada, A. L., Silva, J. O. C., Sousa, M. B. D., Ferreira, A. M., & Carvalho, J. C. T. (2019). Obtaining and characterization of anthocyanins from *Euterpe oleracea* (açai) dry extract for nutraceutical and food preparations. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 29, 677-685. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2019.03.004> doi: 10.1016/j.bjp.2019.03.004

Silva, K. F. C., Rabelo, R. S., Feltre, G., & Hubinger, M. (2022). Bitter substances recovery from hot trub: A study of polymeric membranes performance in a sequential mode with fouling investigation. *Separation and Purification Technology*, 303, 122241. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.122241> doi: 10.1016/j.seppur.2022.122241

Silva, M. P., Thomazini, M., Holkem, A. T., Pinho, L. S., Genovese, M. I., & Fávaro-Trindade, C. S. (2019). Production and characterization of solid lipid microparticles loaded with guaraná (*Paullinia cupana*) seed extract. *Food Research International*, 123, 144-152. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.055> doi: 10.1016/j.foodres.2019.04.055

Simen, T. J. M., Finotelli, P. V., Barboza, F. F., Pereira, M. A., Pierucci, A. P. T. R., Moura, M. R. L., ... & Leitão, S. G. (2016). Spray-dried extract from the Amazonian adaptogenic plant *Ampelozizyphus amazonicus* Ducke (Saracura-mirá): Chemical composition and immunomodulatory properties. *Food Research International*, 90, 100-110. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.040> doi: 10.1016/j.foodres.2016.10.040

Stefaniak, A., & Grzeszczuk, M. E. (2019). Nutritional and biological value of five edible flower species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 47(1), 128-134. Available from: <https://doi.org/10.15835/nbha47111136> doi: 10.15835/nbha47111136

Stylianopoulou, C. (2023). Carbohydrates: Requirements and dietary importance. Editor(s): B. Caballero. *Encyclopedia of Human Nutrition* (Fourth Edition). Academic Press. Pages 136-143. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00174-8> doi: 10.1016/B978-0-12-821848-8.00174-8

- Su, N., Li, J., Yang, L., Hou, G., & Ye, M. (2018). Hypoglycemic and hypolipidemic effects of fermented milks with added roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) extract. *Journal of functional foods*, 43, 234-241. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.02.017> doi: 10.1016/j.jff.2018.02.017
- Sudha, S., & Saral, A. M. (2023). Studies on phytochemical, mineral content, in vitro anti-urolithiatic and anti-diabetic activities of horse gram flour extracts and its biosynthesized Ag nanoparticles. *Heliyon*, 9(6). Available from: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16572> doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e16572
- Swain, T., & Hillis, W. E. (1959). The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I.—The quantitative analysis of phenolic constituents. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 10(1), 63-68. Available from: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740100110>. doi: 10.1002/jsfa.2740100110
- Swargiary, A., Daimari, M., Roy, M., Haloi, D., & Ramchiary, B. (2019). Evaluation of phytochemical properties and larvicidal activities of *Cynodon dactylon*, *Clerodendrum viscosum*, *Spilanthes acmella* and *Terminalia chebula* against *Aedes aegypti*. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*, 12(5), 224-231. Available from: <https://www.apjtm.org/text.asp?2019/12/5/224/259243> doi: 10.4103/1995-7645.259243
- Uthpala, T. G. G., & Navaratne, S. B. (2021). *Acmella oleracea* plant; identification, applications and use as an emerging food source—review. *Food Reviews International*, 37(4), 399-414. Available from: <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1709201> doi: 10.1080/87559129.2019.1709201
- Vargas-León, E. A., Díaz-Batalla, L., González-Cruz, L., Bernardino-Nicanor, A., Castro-Rosas, J., Reynoso-Camacho, R., & Gómez-Aldapa, C. A. (2018). Effects of acid hydrolysis on the free radical scavenging capacity and inhibitory activity of the angiotensin converting enzyme of phenolic compounds of two varieties of jamaica (*Hibiscus sabdariffa*). *Industrial Crops and Products*, 116, 201-208. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.02.044> doi: 10.1016/j.indcrop.2018.02.044
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Junior, M. R. M. (2019). Phenolic compounds: Structure, classification, and antioxidant power. In *Bioactive compounds* (pp. 33-50). Woodhead Publishing. Available from: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5> doi: 10.1016/B978-0-12-814774-0.00002-5
- Wang, Q., Guo, Q., Niu, W., Wu, L., Gong, W., Yan, S., & Zhao, M. (2022). The pH-responsive phase separation of type-A gelatin and dextran characterized with static multiple light scattering (S-MLS). *Food Hydrocolloids*, 127, 107503. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107503> doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.107503
- Wiriyanphan, C., Chitsomboon, B., & Yongsawadigul, J. (2012). Antioxidant activity of protein hydrolysates derived from threadfin bream surimi byproducts. *Food Chemistry*, 132(1), 104-111. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.10.040> doi: 10.1016/j.foodchem.2011.10.040
- Yamaguchi, K. K. L., Pereira, L. F. R., Lamarão, C. V., Lima, E. S., & da Veiga-Junior,

V. F. (2015). Amazon acai: Chemistry and biological activities: A review. *Food chemistry*, 179, 137-151. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.01.055> doi: 10.1016/j.foodchem.2015.01.055

Yao, H., Flanagan, B. M., Williams, B. A., Mikkelsen, D., & Gidley, M. J. (2023). Particle size of dietary fibre has diverse effects on in vitro gut fermentation rate and end-products depending on food source. *Food Hydrocolloids*, 134, 108096. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108096> doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108096

Zhao, H., Tang, S., Tao, Q., Ming, T., Lei, J., Liang, Y., & Xu, H. (2023). Ursolic acid suppresses colorectal cancer by down-regulation of Wnt/ β -catenin signaling pathway activity. *Journal of agricultural and food chemistry*, 71(9), 3981-3993. Available from: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c06775> doi: 10.1021/acs.jafc.2c06775

CAPÍTULO 4 – Manuscrito Científico

Manuscrito científico com os resultados das análises sensoriais dinâmica e afetivo, intitulado “Perfil sensorial de chocolates amargos elaborados com diferentes extratos vegetais”, em fase de revisão final pelos autores para submissão ao periódico *Journal of Sensory Studies*.

Perfil sensorial de chocolates amargos elaborados com diferentes extratos vegetais

Felipe de Lima Franzen¹, Erika Yumi Hiramatsu¹, Alessandra Cazelatto de Medeiros¹, Mari Silvia Rodrigues de Oliveira², Cecília Teresa Muniz Pereira³, Valdecir Luccas⁴, Helena Maria André Bolini¹

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Ciência Sensorial e Estudo de consumidor, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP – Brasil.

² Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS – Brasil.

³ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão. Campus Codó, MA – Brasil.

⁴ Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate (Cereal Chocotec), Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Campinas, SP – Brasil.

Resumo: Este estudo teve como objetivo investigar o perfil sensorial de chocolates amargos adicionados com diferentes extratos vegetais, utilizando análises dinâmicas e de aceitação para avaliar o impacto desses extratos na percepção dos consumidores. Foram produzidas sete amostras de chocolate, sendo um controle e as outras seis adicionadas com extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate. O processo de fabricação seguiu etapas convencionais, como mistura, refino, conchagem e temperagem, com os extratos sendo incorporados durante o refino para garantir a distribuição adequada e padronizar o tamanho das partículas da massa. A análise sensorial incluiu o teste TDS (Dominância Temporal das Sensações), que avaliou a evolução dos atributos sensoriais dominantes durante a degustação. Entre os atributos avaliados, o amargor e o sabor de chocolate foram dominantes na maioria das amostras, especialmente devido ao teor de cacau presente. No chocolate com extrato de hibisco, o gosto ácido se destacou, enquanto no chocolate com extrato de jambu, houve dominância do gosto ácido e da sensação

de formigamento, resultado da substância responsável pela sensação de formigamento e dormência no jambu. Os testes de aceitação foram realizados em três regiões do Brasil (Sul, Sudeste e Nordeste), totalizando 408 consumidores. As amostras de chocolates com extratos de jambu tiveram as menores pontuações em todas as regiões, devido à sensação de formigamento e dormência, características que não foram bem aceitas pelos consumidores. Por outro lado, as amostras com extratos de açaí, canela guaraná e erva-mate apresentaram desempenho semelhante ao chocolate controle em diversos atributos, como aparência, aroma e derretimento. A análise JAR (Just-About-Right) mostrou que a maioria dos consumidores considerou a maciez e o derretimento das amostras de chocolate com açaí, guaraná e erva-mate como ideais. No teste CATA (Check-all-that-apply), os resultados mostraram que os consumidores nas três regiões caracterizaram os chocolates contendo extrato de jambu com atributos formigamento, dormência, sabor mentol, aroma e sabor pimenta, aroma e sabor herbal e sabor jambu. A caracterização de alguns chocolates diferiu entre as regiões de acordo com o extrato adicionado. Para os consumidores da região Sul, os chocolates contendo extrato de hibisco foram caracterizadas por atributos de aroma e sabor torrado. Já para os consumidores da região Nordeste, esses atributos eram característicos dos chocolates com extrato de açaí. Para as outras amostras com os outros extratos, o teste CATA mostrou que a adição desses produtos não interferiu nos atributos característicos de um chocolate amargo. Já a análise de correspondência múltipla destacou que a escolha das embalagens pelos consumidores foi influenciada pelas associações entre cores e as características sensoriais dos chocolates, reforçando a importância do *design* visual na percepção do produto. Esses resultados mostram que o uso de extratos vegetais em chocolates é uma alternativa viável para melhorar a aceitação pelos consumidores, destacando o potencial de inovação deste produto.

Palavras-chave: Plantas medicinais; Cacau; Aceitação; TDS; JAR; Embalagens.

Introdução

O chocolate é um dos doces mais apreciados no mundo devido às suas características sensoriais de sabor, textura e cor (Toker et al., 2018). No Brasil, a produção e o consumo de chocolates tradicionais e gourmet são economicamente significativos, especialmente na região Sul da Bahia, onde se concentra a produção do cacau nacional (Weiss et al., 2021). Nos últimos anos, há uma pressão crescente sobre as indústrias de alimentos por produtos mais saudáveis, os consumidores estão exigindo preparações alimentícias ou produtos mais benéficos para a saúde (Marchioretto et al., 2024). A partir dessa percepção, o chocolate pode se tornar mais atrativo e saudável quando se adiciona em sua formulação, ingredientes como os extratos vegetais provenientes de matérias-primas naturais.

Extratos vegetais são compostos de substâncias da estrutura da matriz vegetal com elevada concentração, que na matriz sólida natural (plantas) estão

presentes em pequenas quantidades (Franzen et al., 2018). Estes extratos são utilizados pelas indústrias de alimentos para melhorar a estabilidade dos produtos, além de fornecerem cor, aroma e sabor.

Extratos vegetais podem ser utilizados como antioxidantes naturais para prevenir a oxidação lipídica dos alimentos, que é uma grande preocupação na indústria, pois gera produtos indesejáveis como a degradação dos lipídios e a produção de compostos voláteis que torna os alimentos sensorialmente inaceitáveis, além de produzir substâncias potencialmente tóxicas (Franzen et al., 2021).

A percepção da complexidade durante o consumo de alimentos é considerada um dos traços sensoriais eficazes que influenciam a formação de preferências (Lévy et al., 2006). A avaliação da complexidade sensorial dos alimentos tem importância na compreensão das características dos alimentos, na previsão das preferências alimentares e na rotulagem de produtos que aumentem a propensão dos consumidores para adquiri-los (Genya et al., 2023).

A complexidade é geralmente estudada em termos de uma única característica sensorial (por exemplo, aparência, textura, aroma, sabor), e pouca atenção é dada à dimensão temporal da complexidade sensorial (Palczak et al., 2019).

A utilização da “dominância temporal das sensações” (TDS), é um método de avaliação sensorial dinâmico que mede a “dominância da sensação”, o traço sensorial que mais atrai a atenção (Pineau et al., 2009), assumindo que a complexidade sensorial dos alimentos está relacionada com “o número de sensações percebidas” (Meillon et al., 2010) ou “o número de vezes que a sensação dominante mudou” (Tang et al., 2017).

A percepção sensorial, a preferência e a aceitação do consumidor são elementos fundamentais para a inovação e desenvolvimento de novos produtos alimentícios (Byrne, 2020). O uso da avaliação sensorial e estudos de aceitação do consumidor, podem identificar os fatores de gostar e não gostar de um determinado produto (Lawless & Heymann, 2010).

Assim, por meio de testes hedônicos ou afetivos, é possível compreender a preferência e aceitação alimentar com base na medição de preferência de atributos como aparência, aroma, sabor, textura e impressão global (Lawless & Heymann, 2010; Civille et al., 2015; Lacerda et al., 2024).

Nas associações cor-gosto, a consistência da cor de uma embalagem, desempenha um papel importante na aceitação dos alimentos (Palmer; Schloss, 2010; Spence, 2011). Koch (2003) descobriu que várias cores produzem associações positivas com quatro sabores principais: doce (vermelho e laranja), azedo (verde e amarelo), amargo e salgado (branco). Além disso, há uma forte correspondência de padrões cruzados entre cores e sabores básicos específicos, o que significa que as pessoas sempre associam certas cores a sabores básicos específicos (Spence, 2011; Spence, 2012).

A possível razão para essa associação é que certas memórias afetivas específicas são movidas pela cor e causam atribuições de sabor específicas. Assim, as cores podem produzir certos efeitos sobre o sabor que tornam um alimento específico mais desejável (Wang; Chang, 2022).

Apesar de vários estudos analisarem as propriedades nutricionais e sensoriais de chocolates, não há estudos que exploraram as atitudes dos consumidores em relação a esse produto adicionado de extratos vegetais. Com isso, estudos são necessários para melhorar os aspectos nutricionais e sensoriais de chocolates com diferentes ingredientes naturais.

Diante disso, o objetivo da pesquisa foi elaborar chocolates amargos adicionados de extratos vegetais de diferentes espécies de plantas aromáticas e medicinais, avaliando seu perfil sensorial dinâmico e afetivo, e também explorar as atitudes dos consumidores deste produto.

Material e Métodos

Obtenção das Matérias-primas

Os extratos vegetais foram adquiridos da empresa Givaudan® (CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil) por meio de doação (Tabela 1). Os ingredientes para a elaboração dos chocolates foram adquiridos das empresas Cargill Inc, Brasil, também por meio de doação, conforme segue especificação: Líquor de cacau natural NA700 (lote 0019609681, Cargill Inc, Brasil); manteiga de cacau desodorizada (lote 0021428436, Cargill Inc, Brasil); lecitina de soja (lote 0018175203, Cargill Inc, Brasil); sacarose açúcar cristal refinado (lote 150721, Açúcareira Boa Vista, Limeira, SP, Brasil); leite em pó integral (lote 2118B41, Piracanjuba®, Bela Vista de Goiás, Goiás, Brasil) e leite em pó desnatado (lote 2141B46, Piracanjuba®, Bela Vista de Goiás,

Goiás, Brasil). Todos os ingredientes foram armazenados em local apropriado, protegido da luz e de umidade, até o momento do uso.

Tabela 7 - (Tabela 1 do artigo) Extratos vegetais utilizados na pesquisa.

Nome científico	Nome popular	Código	Descrição do produto
<i>Euterpe oleraceae</i> Martius.	Açaí	100343	Polpa Desidratada de Açaí Min. 0,3% Polifenóis Totais calculados como ácido gálico. Lote: 110918.00652
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume	Canela	200064	Canela Extrato Seco. Lote: 251018.00885
<i>Paullinia cupana</i> Kunth	Guaraná	100350	Guaraná Extrato Seco Orgânico 9-11% Metilxantinas Totais calculadas como cafeína. Lote: 160119.01153
<i>Hibiscus sabdariffa</i> DC.	Hibiscus	100101	Chá Hibiscus Desidratado NFCI: BF7E415D-7171-4FF8-BD2E-D8B58599A2E5 Lote: 020119.01090
<i>Spilanthes oleraceae</i> L.	Jambu	100390	Jambu Extrato Concentrado Mín. 10% Espilantol Lote 050618.00247
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	Erva-mate	100383	Mate Extrato Seco Orgânico 1,8 – 2,7% Metilxantinas Totais calculadas como cafeína. Lote: 080618.00277

Fonte: Givaudan® (CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil).

Elaboração dos chocolates

Os chocolates foram produzidos nas instalações do Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate (Cereal Chocotec), no Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital), que permitiu a produção em escala piloto do produto. Foram produzidas um total de sete amostras de chocolate amargo, sendo seis amostras adicionadas de extratos vegetais e uma amostra controle sem adição de extrato vegetal (Tabela 2). As formulações foram definidas de acordo com Beckett (2009) e de acordo com a legislação brasileira, Resolução RDC nº 723, de 1 de julho de 2022.

A elaboração dos chocolates iniciou com a pesagem e mistura de todos os ingredientes, seguido de conchagem em Concha Homogeneizadora JAF Inox (BR), refino em refinador de moinho de esferas CAO - B5 (Caotech, Wormerveer, Holland), temperagem manual, moldagem e o resfriamento em túnel de resfriamento HGM032B39Q (Danfoss, BR). A metodologia do processo foi baseada em adaptações do que é proposto por Bolenz et al., (2014) que segue os padrões para os equipamentos disponíveis na planta piloto do Cereal Chocotec. A conchagem foi dividida em três etapas: i) seca, realizada a 60°C durante 4 horas e frequência de pás 48Hz; ii) plástica, realizada a 60°C e frequência de pás 60Hz por 1h e 30 minutos e iii)

líquida, realizada por 30 minutos, temperatura de 60°C e frequência de pás 60Hz, totalizando 6 horas de conchagem. A etapa de refino foi realizada por um período variável (média de 50 minutos), de acordo com a quantidade processada por batelada, com critério de que a massa atingisse uma distribuição do tamanho de partículas entre 20 a 25 µm (Luccas, 2001).

Os extratos vegetais foram adicionados a massa do chocolate na etapa de refino do produto, para redução do tamanho das partículas. A temperagem foi iniciada com o chocolate pré-derretido a 45 °C com redução de temperatura a 29 °C até atingir sua estabilidade. Os chocolates foram então despejados em formas de policarbonato, com formato de barras retangulares de 5,5 x 12,2 x 1,0 cm, contendo 18 subdivisões iguais, para as análises sensoriais.

As bolhas de ar foram removidas em mesa vibratória CFW 08 (JAF Inox, BR). O resfriamento foi realizado em túnel de resfriamento HGM032B39Q (Danfoss, BR) ajustado para temperatura do ar de operação a 9°C (centro do túnel), durante 25 minutos. Após o término do resfriamento, o produto final foi desmoldado e as barras foram embaladas em papel alumínio, separadas em lotes (de acordo com cada extrato), os quais foram acondicionados em embalagem secundária de PEBD e mantidos em incubadora B.O.D. (Extralab, BR) a 20 °C até a execução de todas as etapas da presente pesquisa.

Para o desenvolvimento dos chocolates, foram feitas bateladas de 5 kg de amostra para a realização dos testes sensoriais de aceitação e TDS com objetivos de avaliar, principalmente, a influência da adição dos extratos na aparência, aroma, sabor, textura e derretimento dos chocolates. Para essa pesquisa, foram produzidos seis diferentes lotes de chocolate contendo os seguintes extratos descritos na Tabela 2, mais o lote controle.

Tabela 8 - (Tabela 2 do artigo) Porcentagem dos ingredientes da formulação dos chocolates com adição dos diferentes extratos vegetais.

Ingredientes (%)	Amostras						
	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM
Massa de cacau	35	35	35	35	35	35	35
Manteiga de cacau	15	15	15	15	15	15	15
Açúcar	33,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5
Leite em pó integral	12	12	12	12	12	12	12
Leite em pó desnatado	4	4	4	4	4	4	4
Lecitina de soja	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
*Extrato vegetal	0	1	1	1	1	1	1

Fonte: Formulação criada pelos autores.

*extratos de Açaí, Canela, Guaraná, Hibisco, Jambu e Erva-mate. CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; CM: chocolate com extrato de erva-mate; e Controle: formulação base sem extrato.

Análises Sensoriais

As análises sensoriais de aceitação na região Sudeste e o teste Dominância Temporal das Sensações (TDS) foram realizadas no Laboratórios de Ciência Sensorial e Estudo de Consumidor da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, em cabines individuais climatizadas (21°C) e com iluminação adequada, atendendo às normas ISO 8589:2007.

As metodologias sensoriais utilizadas neste estudo foram Dominância Temporal das Sensações e Teste de Aceitação, realizadas de acordo com as normas ISO 13299:2017 (Versão corrigida 2021) e ISO 11136:2016 (versão corrigida 2022). O estudo foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e aprovado sob nº CAAE 18709019.4.0000.5404.

Dominância Temporal das Sensações (TDS)

O TDS é um método relativamente recente na ciência sensorial, onde é descrito a evolução dos atributos sensoriais dominantes durante a degustação de um produto. O teste TDS continha uma lista de 10 atributos (Tabela 3) definida em consenso entre os pesquisadores do Laboratório de Ciência Sensorial e Estudo de Consumidor (LCSEC), de acordo com os objetivos desta etapa, além da opção

“nenhum” com o intuito de permitir ao consumidor indicar o tempo em que nenhuma sensação é percebida (Rodrigues et al., 2016).

Tabela 9 - (Tabela 3 do artigo) Atributos e descrições sensoriais definidos para a análise sensorial de TDS.

Termos Descritores	Percepção Sensorial	Descrição
Chocolate	Sabor	Percepção do sabor característico de um chocolate equilibrado, sem que o sabor de algum elemento se sobressaia aos demais, ao provar a amostra.
Amargo/Amargor	Gosto	Percepção da intensidade do gosto amargo ao provar a amostra, característico de chocolate amargo, soluções de cafeína ou quinina.
Café	Sabor	Percepção do sabor característico de café, proveniente dos compostos presentes nos grãos de café, ao provar a amostra.
Amanteigado	Sabor	Percepção da intensidade do sabor de manteiga de cacau ou de gordura na boca, associado após derretimento, ao provar a amostra.
Ácido/Azedinho	Gosto	Percepção da intensidade do gosto ácido/azedinho que faz salivar ao provar a amostra, tipo mousse de limão ou iogurte natural.
Derretimento	Textura/sensação na boca	Percepção da facilidade da amostra de derreter (passa do estado sólido para o líquido), quando colocada na boca.
Terroso	Sabor	Percepção da intensidade do sabor de notas terrosas como de

		terra fresca, argila ou musgo, percebidas em alguns vegetais de raiz ou certos tipos de cogumelos, ao provar a amostra.
Doce/Doçura	Gosto	Percepção da intensidade do gosto doce, associado ao açúcar, que surge na boca.
Herbal	Sabor	Percepção da intensidade do sabor de ervas e suas notas herbáceas, características de chás de ervas.
Formigamento na Boca	Sensação tátil química	Percepção da sensação tátil química, sentida na boca, característica da substância spilanthol, encontrada na planta <i>Spilanthes oleraceae</i> L., ao provar a amostra.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os consumidores passaram por uma instrução preliminar sobre o teste, o uso do software de coleta de dados FIZZ Sensory Analysis Software (Biosystemes, Courtenon, France) e entendimento das sensações e emoções que estariam descritas no teste. Ao iniciar o teste, os consumidores eram instruídos a colocar toda a amostra na boca (4g) e durante a mastigação por 15 segundos, irem indicando a sensação dominante em função do tempo (descritas na Tabela 3). Após engolir, deveriam continuar seguindo a avaliação até o fim, em 120 segundos. O tempo total de duração consistiu, portanto, em 135 segundos e todas as instruções eram apresentados ao decorrer do teste para todas as amostras. Quando a percepção dominante mudava, o consumidor tinha a liberdade de indicar a nova sensação dominante, até que sua percepção terminasse. Os consumidores poderiam escolher o mesmo atributo várias vezes ou não selecionar um atributo. As curvas dos resultados TDS foram plotadas pelo software FIZZ Sensory Analysis. Duas linhas foram incluídas nas análises das curvas: “chance level”, que indica a chance de uma sensação ter sido escolhida ao acaso pelo consumidor e “significance level”, que representa o valor mínimo

necessário para uma sensação ser considerada dominante significativamente para a análise.

Participaram deste teste um total de 70 consumidores frequentes de chocolate, com idades entre 18 e 60 anos, de ambos os gêneros, com interesse em participar do teste, disponibilidade de tempo e que não tinham aversão a chocolate. As amostras foram codificadas com 3 dígitos e fornecidas aos provadores de forma monádica, por blocos completos balanceados, atendendo a sequência fornecida pelo software FIZZ Sensory Analysis.

Teste de Aceitação e Check-all-that-apply (CATA)

O teste de aceitação e Check-all-that-apply (CATA) dos chocolates foram realizados nas três regiões mais populosas do Brasil, denominadas de Sul (cor verde no mapa), Sudeste (cor azul no mapa) e Nordeste (cor vermelha no mapa) conforme mostra a Figura 1.

Figura 3 – (Figura 1 do artigo) Mapa do Brasil e suas Regiões Geográficas.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Para o teste de aceitação, 136 consumidores de cada região citada, totalizando 408 consumidores, dos gêneros feminino, masculino e não binário, com idade entre 18 e 70 anos, representativos do público-alvo, avaliaram a aparência, aroma, sabor, textura, derretimento e impressão global das amostras por meio de um teste com escala hedônica linear estruturada nominal de 9 pontos, ancorada nas

extremidades pelos termos “Desgostei extremamente (1)”, à esquerda, e “Gostei extremamente (9)”, à direita (Lawless & Heymann, 2010).

A intenção de compra foi avaliada por meio de uma escala de 5 pontos, variando de “Certamente não compraria (1)” a “Certamente compraria (5)” (Civille; Carr; Osdoba, 2024). Também foi avaliado o ideal de maciez e derretimento, por meio da escala Just-About-Right (JAR) com cinco categorias, sendo “muito menos que o ideal (1)”, “menos que o ideal” (2), “ideal (3)”, “mais que o ideal” (4) e “muito mais que o ideal (5)”.

O teste aplicado nas 3 regiões foi iniciado logo após os consumidores receberem as informações sobre a metodologia e uso do celular para identificar o link de acesso do teste por meio do software Compusense®. Juntamente com o teste de aceitação, com finalidade de caracterizar as amostras, foi aplicado o questionário Check-all-that-apply (CATA), contendo 36 atributos sensoriais com relação à aparência, aroma, sabor e textura, definidos em consenso entre os pesquisadores do estudo e de acordo com observações apontadas em literatura para chocolate (Thomson et al, 2010). Nesta etapa os consumidores foram solicitados a selecionar todas as opções que consideraram apropriados para cada uma das amostras.

Por fim, os consumidores responderam também neste teste, espontaneamente, qual embalagem melhor representava cada amostra dentre os 7 tipos diferentes de embalagens desenvolvidas de acordo com a cor dos extratos adicionados nas amostras e definição do designer gráfico Rafael Ariani, como mostra a Figura 2. O mesmo questionário contendo todos os testes citados foram aplicados nas 3 regiões, não simultaneamente, mas com as mesmas condições e metodologias do teste.

Figura 4 – (Figura 2 do artigo) Ilustrações das 7 diferentes embalagens dos chocolates utilizadas nos testes de aceitação no Brasil.



Designed by: Designer gráfico Rafael Ariani, STUDIODIPE.COM

*Imagens meramente ilustrativas.

Legenda: 1 – cor preta, 2 – cor azul, 3 – cor marrom, 4 – cor vermelha, 5 – cor rosa/lilás, 6 – cor amarelo-claro e 7 – cor verde.

Análise dos dados:

Os resultados foram coletados utilizando os softwares FIZZ Sensory Analysis (TDS) e Compusense® (teste de aceitação e CATA). Os dados dos parâmetros obtidos na análise com consumidores foram avaliados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA) e o teste de média de Tukey, para verificar se há diferença entre as amostras com nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$) utilizando o software SAS. A intenção de compra foi analisada por histogramas de frequência e os dados da escala JAR foram submetidos à análise de penalidades. Os dados do CATA foram analisados por Análise de Correspondência (AC), aplicada à tabela de contingência (Bruzzone et al., 2015) e teste Q de Cochran, utilizando o software XLSTAT para Windows versão 2012.5 (Addinsoft, Paris, França), a um nível de significância de 5%.

Resultados e Discussão

O teste afetivo é aplicado ao consumidor quando o pesquisador necessita identificar o seu estado afetivo, para que o mesmo avalie um produto quanto à escolha, preferência, gostos, atributos sensoriais, geralmente através de questionários com escalas hedônicas utilizadas para determinar o grau de aceitável ou inaceitável, gosto ou desgosto da amostra avaliada (Civille et al., 2015).

Os resultados do teste de aceitação analisados pela ANOVA e teste de Tukey ($P < 0,05$) para os atributos aparência, aroma, sabor, textura, derretimento e impressão global são apresentados nas Tabelas 4 e 5.

Participaram deste estudo um total de 408 consumidores de chocolates, com idade superior a 18 anos, destes 62,74% declararam-se do sexo feminino, 36,77% declararam-se do sexo masculino e 0,49% declararam-se não-binário. Em relação à frequência de consumo, 22,3% dos consumidores declararam que consomem chocolate diariamente, 28% consomem chocolate mais de duas vezes por semana, 21,3% consomem chocolate duas vezes por semana, 18,1% consomem chocolate uma vez por semana e 10,3% consomem chocolate uma vez por mês ou menos.

A motivação para este consumo de chocolate, para 58,5% dos consumidores é por satisfação emocional, 34% consomem chocolate como hábito, 5,1% por considerar saudável e para 2,4% por diminuir a fome. Os fatores mais importantes que influenciam o consumo de chocolate pelos consumidores são o sabor (52,8%), a marca (20,5%) e o preço (19,4%). Já os fatores menos importantes, segundo os mesmos consumidores, são nutricionais e de embalagem, que somam 7,3%.

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de aceitação nas 3 regiões do Brasil. Na região Sul houve diferença significativa em todos os atributos avaliados. Os chocolates com extrato açaí, canela, guaraná, hibiscos e erva-mate tiveram um bom desempenho e não diferiram estatisticamente ($P < 0,05$) da amostra controle em relação à aparência, aroma e derretimento. Para sabor, textura e impressão global, as amostras contendo hibiscos e jambu obtiveram as menores médias, diferindo estatisticamente da amostra controle. Pode-se afirmar que o bom desempenho em relação a aceitação global da amostra de chocolate com erva-mate na Região Sul deve-se alto consumo desta na região. A região sul do Brasil tem uma longa e

intrínseca relação com a erva-mate, que remete aos povos originários, os quais a utilizam devido as suas propriedades estimulantes e medicinais. Além disso, a erva-mate é um componente essencial da cultura local.

Para a região Sudeste, houve diferença significativa entre as amostras em todos os atributos avaliados. Nos atributos aparência, aroma e derretimento, todos os chocolates, com exceção do chocolate elaborado com extrato de jambu, não diferiram estatisticamente ($P > 0,05$) da amostra controle, obtendo médias superiores a 7,0. Para os atributos sabor, textura e impressão global, os chocolates com hibiscos e jambu obtiveram as menores médias, diferindo estatisticamente das demais ($P < 0,05$).

Na região Nordeste, para os atributos de aparência, aroma, textura e derretimento, os chocolates elaborados não diferiram estatisticamente entre si, obtendo médias superiores a 7, exceto a amostra contendo extrato de jambu. Para o sabor, os chocolates elaborados com extratos de hibiscos, jambu e erva-mate obtiveram as menores médias, diferindo estatisticamente da amostra controle.

Tabela 10 - (Tabela 4 do artigo) Médias de aceitação das amostras de chocolates comparadas entre si em cada região do Brasil.

Região	Chocolate	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Derretimento	Impressão global
Sul	Controle	7,38 ^{ab}	7,02 ^a	7,32 ^a	7,35 ^a	7,21 ^{ab}	7,30 ^a
	Açaí	7,67 ^{ab}	6,96 ^a	7,11 ^a	7,23 ^a	7,17 ^{ab}	7,08 ^{ab}
	Canela	7,69 ^{ab}	7,11 ^a	7,08 ^{ab}	7,24 ^a	7,25 ^a	7,25 ^a
	Guaraná	7,25 ^b	6,73 ^a	7,27 ^a	7,29 ^a	7,13 ^{ab}	7,14 ^{ab}
	Hibisco	7,44 ^{ab}	6,77 ^a	6,58 ^b	6,70 ^b	6,76 ^b	6,68 ^b
	Jambu	6,66 ^c	5,10 ^b	2,84 ^c	5,70 ^c	5,54 ^c	3,34 ^c
	Erva-mate	7,77 ^a	7,02 ^a	7,33 ^a	7,35 ^a	7,28 ^a	7,30 ^a
	MSD*	0,45	0,51	0,52	0,47	0,46	0,49
Sudeste	Controle	7,81 ^a	7,17 ^a	7,54 ^{ab}	7,62 ^a	7,43 ^{ab}	7,44 ^a
	Açaí	7,69 ^{ab}	7,10 ^a	7,12 ^b	7,13 ^{ab}	7,23 ^{ab}	7,22 ^a
	Canela	7,76 ^a	7,29 ^a	7,32 ^{ab}	7,41 ^a	7,43 ^{ab}	7,52 ^a
	Guaraná	7,86 ^a	7,33 ^a	7,67 ^a	7,63 ^a	7,43 ^{ab}	7,61 ^a
	Hibisco	7,68 ^{ab}	7,18 ^a	6,21 ^c	6,70 ^b	6,97 ^b	6,55 ^b
	Jambu	7,28 ^b	5,18 ^b	2,43 ^d	6,19 ^c	6,06 ^c	2,89 ^c
	Erva-mate	7,89 ^a	7,24 ^a	7,10 ^b	7,58 ^a	7,52 ^a	7,61 ^a
	MSD*	0,45	0,49	0,54	0,50	0,50	0,51
Nordeste	Controle	7,77 ^a	7,27 ^a	7,7 ^a	7,58 ^a	7,49 ^a	7,60 ^a
	Açaí	7,78 ^a	7,40 ^a	7,32 ^{ab}	7,58 ^a	7,42 ^a	7,40 ^a
	Canela	7,79 ^a	7,33 ^a	7,4 ^{ab}	7,64 ^a	7,39 ^a	7,40 ^a
	Guaraná	7,83 ^a	7,37 ^a	7,22 ^b	7,67 ^a	7,75 ^a	7,55 ^a
	Hibisco	7,49 ^a	7,32 ^a	6,61 ^c	7,32 ^a	7,30 ^a	6,85 ^b
	Jambu	6,25 ^b	4,62 ^b	2,92 ^d	4,94 ^b	5,23 ^b	3,69 ^c
	Erva-mate	7,75 ^a	7,18 ^a	7,01 ^{bc}	7,52 ^a	7,51 ^a	7,34 ^{ab}
	MSD*	0,51	0,52	0,55	0,51	0,52	0,52

Médias com letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre as amostras ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

*Minimum Significant Difference.

Tabela 11 - (Tabela 5 do artigo) Médias de aceitação das amostras de chocolates comparadas entre as 3 regiões do Brasil.

Chocolate	Região	Aparência	Aroma	Sabor	Textura	Derretimento	Impressão global
Controle	Sul	7,39 ^b	7,03 ^a	7,32 ^b	7,36 ^a	7,21 ^a	7,32 ^a
	Sudeste	7,89 ^a	7,21 ^a	7,49 ^{ab}	7,58 ^a	7,43 ^a	7,5 ^a
	Nordeste	7,73 ^{ab}	7,32 ^a	7,79 ^a	7,61 ^a	7,56 ^a	7,64 ^a
	MSD*	0,38	0,45	0,41	0,42	0,42	0,39
Açaí	Sul	7,68 ^a	6,96 ^a	7,11 ^a	7,24 ^a	7,18 ^a	7,09 ^a
	Sudeste	7,67 ^a	6,90 ^a	7,07 ^a	7,11 ^a	7,23 ^a	7,04 ^a
	Nordeste	7,74 ^a	7,33 ^a	7,32 ^a	7,43 ^a	7,27 ^a	7,35 ^a
	MSD*	0,40	0,46	0,49	0,49	0,47	0,48
Canela	Sul	7,69 ^a	7,12 ^a	7,09 ^a	7,24 ^a	7,25 ^a	7,26 ^a
	Sudeste	7,80 ^a	7,12 ^a	7,26 ^a	7,41 ^a	7,45 ^a	7,31 ^a
	Nordeste	7,68 ^a	7,24 ^a	7,38 ^a	7,60 ^a	7,33 ^a	7,41 ^a
	MSD*	0,38	0,47	0,51	0,43	0,44	0,44
Guaraná	Sul	7,25 ^b	6,74 ^b	7,28 ^a	7,29 ^a	7,14 ^b	7,15 ^a
	Sudeste	7,99 ^a	7,25 ^a	7,65 ^a	7,52 ^a	7,52 ^{ab}	7,49 ^a
	Nordeste	7,74 ^a	7,24 ^a	7,19 ^a	7,65 ^a	7,60 ^a	7,51 ^a
	MSD*	0,39	0,45	0,47	0,43	0,44	0,43
Hibisco	Sul	7,45 ^a	6,77 ^b	6,58 ^a	6,71 ^{ab}	6,76 ^a	6,68 ^a
	Sudeste	7,74 ^a	7,06 ^{ab}	6,22 ^a	6,67 ^b	6,94 ^a	6,40 ^a
	Nordeste	7,38 ^a	7,27 ^a	6,63 ^a	7,21 ^a	7,14 ^a	6,89 ^a
	MSD*	0,42	0,44	0,57	0,51	0,52	0,52
Jambu	Sul	6,66 ^{ab}	5,10 ^a	2,85 ^{ab}	5,71 ^{ab}	5,54 ^{ab}	3,35 ^{ab}
	Sudeste	7,25 ^a	5,22 ^a	2,27 ^b	6,18 ^a	6,01 ^a	2,83 ^b
	Nordeste	6,38 ^b	4,71 ^a	2,93 ^a	5,02 ^b	5,26 ^b	3,65 ^a
	MSD*	0,71	0,69	0,62	0,69	0,68	0,65
Erva-mate	Sul	7,77 ^a	7,02 ^a	7,27 ^a	7,35 ^a	7,29 ^a	7,31 ^a
	Sudeste	7,72 ^a	7,06 ^a	7,07 ^a	7,58 ^a	7,45 ^a	7,34 ^a

	Nordeste	7,66 ^a	7,10 ^a	7,04 ^a	7,41 ^a	7,52 ^a	7,40 ^a
	MSD*	0,41	0,46	0,49	0,44	0,44	0,44

Médias com letras iguais na mesma coluna indicam que não há diferença significativa entre as amostras ($P > 0,05$). pelo teste de Tukey.

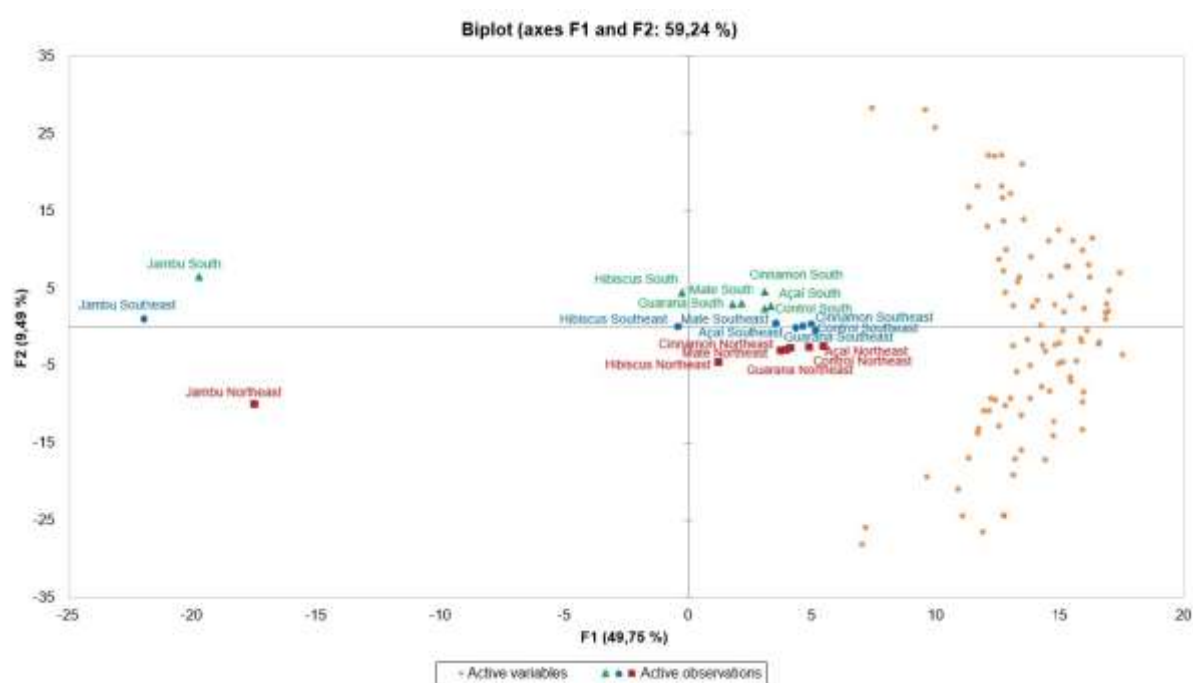
*Minimum Significant Difference.

A Tabela 5 mostra as médias do teste de aceitação para cada atributo avaliado em cada amostra de chocolate. Nesta tabela estão comparadas as médias de cada atributo, de cada chocolate, entre as três regiões. Observa-se que para a aparência, os chocolates com extrato de açaí, canela, hibiscos e erva-mate não apresentaram diferença significativa entre as regiões. Para o aroma, as amostras com extrato de guaraná e hibiscos tiveram as menores médias nesse atributo na Região Sul, diferindo estatisticamente das Regiões Nordeste e Sudeste.

De acordo com o Mapa de preferência interno gerado a partir dos resultados da impressão global dos consumidores de chocolate com adição de extratos vegetais (Figura 3), as duas primeiras dimensões do mapa explicaram 59,24%. No biplot, os consumidores são representados por pontos amarelos e as amostras são mostradas por pontos verdes (Sul), azuis (Sudeste) e vermelhos (Nordeste). O mapeamento de preferência interna permite a identificação visual de grupos de consumidores apontando na mesma direção, ou seja, permite visualizar com mais exatidão o “gostar/não gostar” das mesmas amostras/produtos pelos consumidores (Lee et al., 2002).

Houve uma rejeição para as amostras adicionadas com extrato de jambu nas três Regiões (Figura 3). Essa amostra recebeu as menores médias de Impressão global, diferindo estatisticamente das demais ($p < 0.05$). Pode-se observar no Mapa essas amostras afastadas das demais e dos consumidores. Silva et al. (2020), em estudo sobre o perfil sensorial de jambu minimamente processada relatou a dificuldade dos julgadores em reconhecer qual seria o gosto primário predominante do jambu, sendo este fato atribuído à dormência provocada, que quando manifestada, torna-se predominante, dificultando a percepção de outros sabores. Isto, mais o fato de que esta planta é mais consumida na Região Norte, pode explicar a alta rejeição do chocolate adicionado de extrato de jambu dos consumidores do Sul, Sudeste e Nordeste.

Figura 5 – (Figura 3 do artigo) Mapa Interno de Preferência da análise estatística multivariada de componentes principais das notas de aceitação global individuais dos consumidores das três regiões analisadas do Brasil, em relação as 7 amostras de chocolates.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Legenda: chocolates simbolizados pelo triângulo verde, representam a região Sul; chocolates simbolizados pela elipse azul, representam a região Sudeste; e chocolates simbolizados pelo quadrado vermelho, representam a região Nordeste.

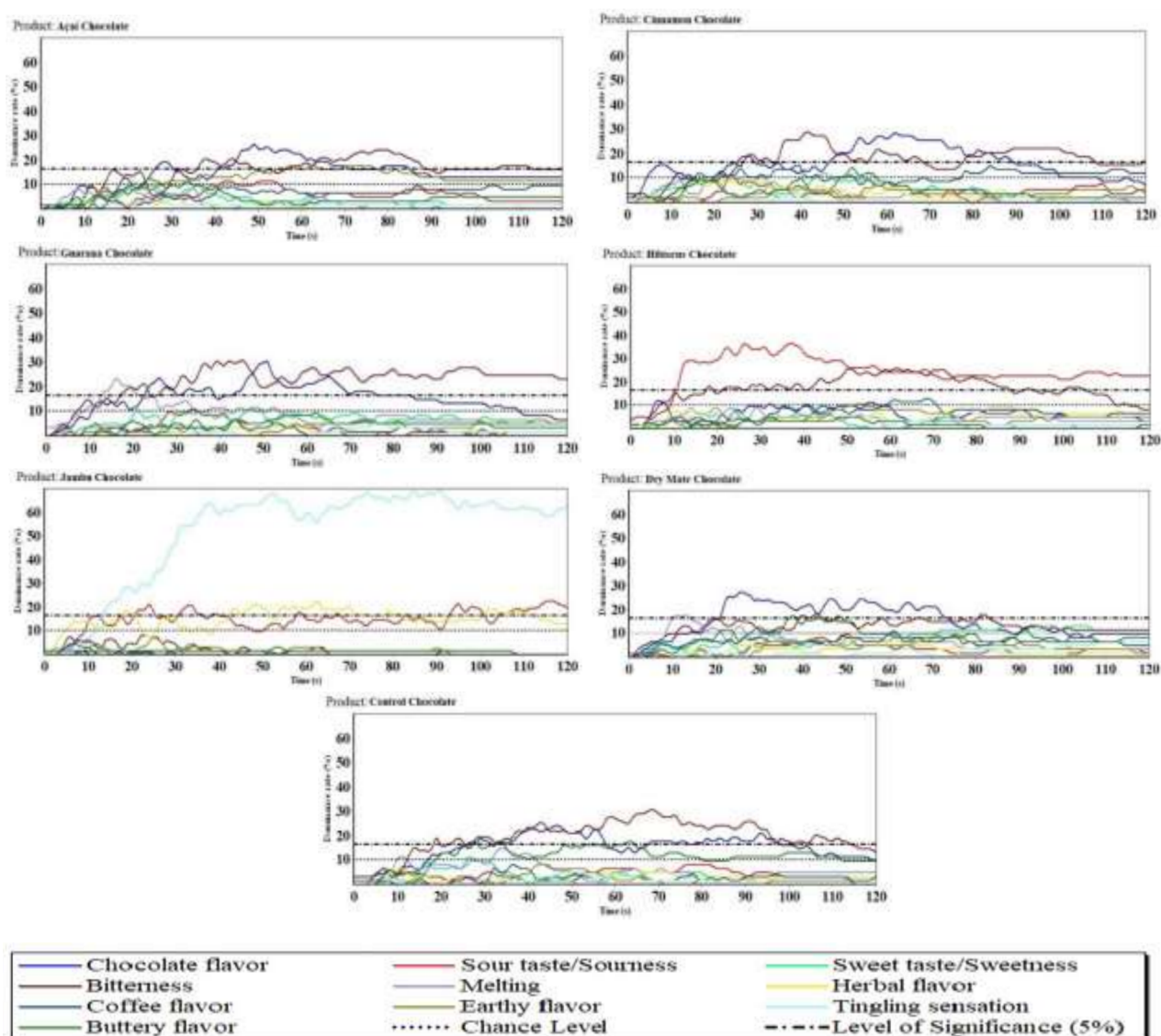
A Figura 4 apresenta o perfil sensorial temporal das amostras de chocolate com extratos vegetais avaliadas. De maneira geral, pode-se observar que os atributos sensoriais estudados variaram ao longo do tempo. Deve-se ressaltar também que a dominância não se refere necessariamente à sensação mais intensa e sim à sensação que mais chama a atenção do avaliador. Portanto, embora um atributo seja o mais dominante, há outros que em algum momento ganham notoriedade (Chuquipoma et al., 2022).

Dentre os atributos avaliados, observa-se um destaque para a sensação de dominância do amargor e sabor chocolate, na maioria das amostras. Os chocolates elaborados eram 50% cacau, o que pode explicar a dominância desses atributos.

No chocolate com extrato de hibisco, o gosto ácido foi dominante na maior parte da avaliação. Os cálices de hibisco possuem cor vermelho intenso, aroma e sabor ácido singular (Monteiro et al., 2017), o que pode justificar o aparecimento deste atributo como dominante nesta amostra. No Nordeste do Brasil, principalmente no estado do Maranhão, as folhas do hibisco são conhecidas como vinagreira ou

azedinha, e são usadas na culinária maranhense para preparação do cuxá, que é um molho muito utilizado no prato típico chamado arroz de cuxá (Trindade Junior et al., 2024).

Figura 6 - (Figura 4 do artigo) Resultados da análise de dominância das sensações dos atributos avaliados em função do tempo, dos diferentes chocolates.



Fonte: Elaborada pelos autores.

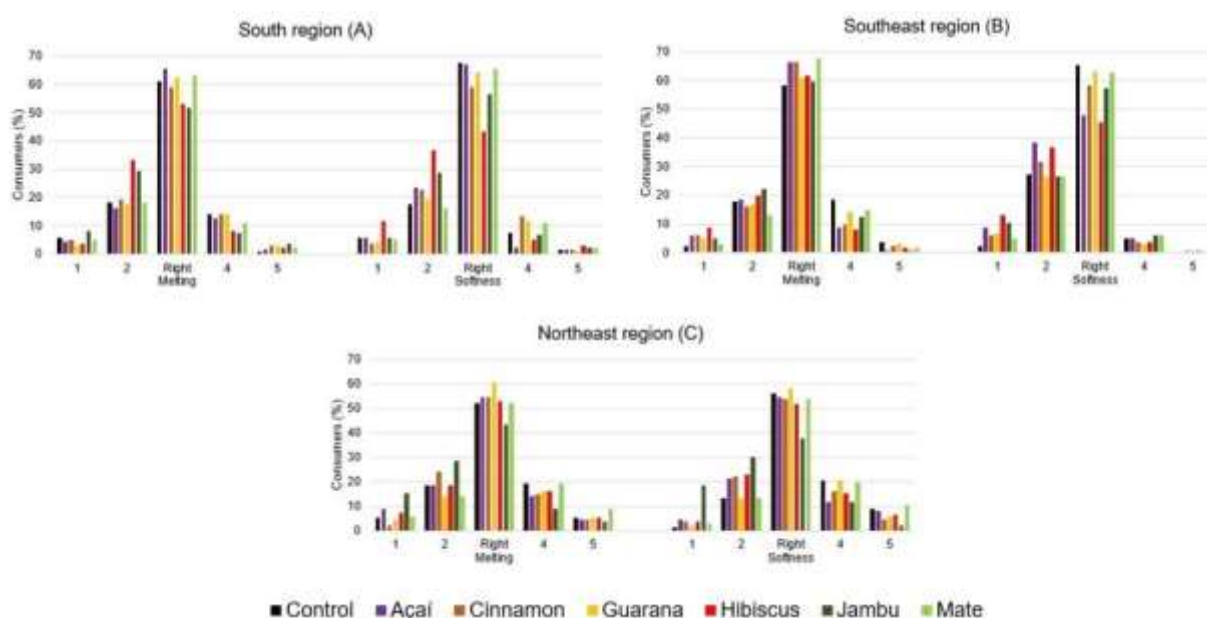
Para o chocolate com extrato de jambu, também houve dominância do gosto ácido, além da sensação de formigamento na boca. Segundo Dallazen et al., (2020) a alcalamida denominada como espilantol (uma alcalamida olefínica com uma isobutílica na cadeia lateral) é a substância responsável pela atividade anestésica do jambu. Esta planta é uma espécie encontrada principalmente na região Norte do Brasil e comumente utilizada como tempero, pois suas flores e folhas têm um sabor picante

e causam formigamento e dormência na boca, que gera uma sensação de anestesiamento (Pires; Da Silva, 2020).

A ingestão de alimentos ricos em determinados compostos, pode estar relacionada a uma maior ou menor percepção de estímulos e atributos sensoriais, ou seja, quanto maior o consumo de vegetais com estes compostos, maior será a percepção do estímulo ou atributo sensorial (Louro et al., 2021).

Os resultados do teste Just-About-Right (JAR) das amostras de chocolates, estão apresentados na Figura 5. Para 60% dos consumidores, na região Sul (Fig.5/A), o chocolate controle e os adicionados com extratos de açaí, guaraná e erva-mate, apresentaram derretimento e maciez ideais, e na região Sudeste (Fig.5/B) estes ideais foram observados nos chocolates com açaí, canela, guaraná, hibisco e erva-mate para o derretimento e os chocolates controle, guaraná e erva-mate apresentaram ideal para maciez. Já para a região Nordeste (Fig.5/C), 50% dos consumidores avaliaram os atributos derretimento e maciez como ideais para os chocolates controle, com extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco e erva-mate.

Figura 7 - (Figura 5 do artigo) Resultado do teste Just-About-Right das amostras de chocolates. A: região Sul, B: região Sudeste e C: região Nordeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A maciez de um chocolate está intimamente ligada à sua textura, que é percebida principalmente durante a mordida e mastigação. Esse atributo depende de

fatores como o tamanho das partículas da massa de cacau e açúcar, a quantidade de manteiga de cacau e o processo de conchagem. Quanto mais refinado o chocolate (partículas menores), mais suave será sua textura, o que contribui para uma sensação agradável na boca. A maciez é essencial para a percepção de qualidade, especialmente em chocolates finos, onde a suavidade se traduz em uma experiência de consumo mais prazerosa e indulgente (Bikos et al., 2022; Wright, 2023; Burkard et al., 2024).

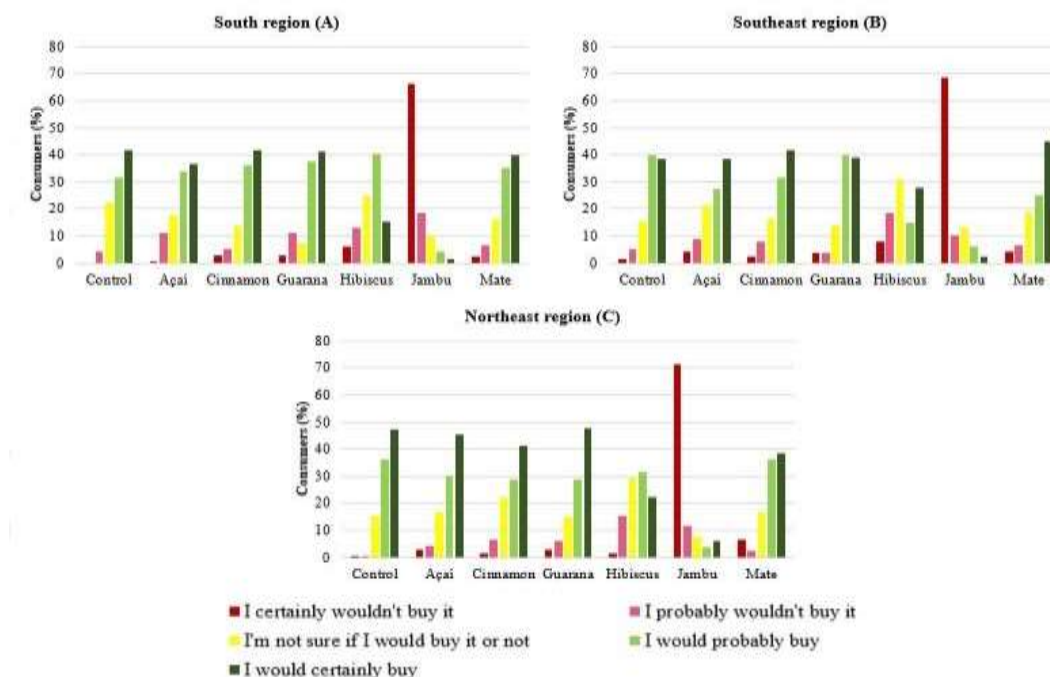
O derretimento do chocolate é outra característica importante, pois influencia diretamente na liberação da olfação retronasal e de sabores. Um chocolate que derrete de forma rápida e homogênea proporciona uma liberação gradual dos compostos voláteis, intensificando as notas aromáticas e gustativas. Este processo é controlado pela composição de gorduras (principalmente a manteiga de cacau) e pela temperagem, que garante a formação dos cristais adequados de gordura responsáveis por um derretimento suave. Um chocolate com bom derretimento, derrete à temperatura da boca (cerca de 37°C), sem deixar resíduos granulosos ou gordurosos (Bolenz; Manske, 2013; Torbica et al., 2014; Mokbul; Cheow; Siow, 2023).

Tanto a maciez quanto o derretimento afetam a textura final do produto, que é uma das principais características sensoriais avaliadas pelos consumidores. Chocolates com boa maciez e derretimento são percebidos como de maior qualidade, além de proporcionarem uma sensação mais agradável. A textura é um dos atributos mais valorizados em testes sensoriais, influenciando diretamente a aceitação do consumidor e, portanto, a sua decisão de compra (Hřivna et al., 2021; Valdivia-Culqui et al., 2024).

Os resultados da aceitação refletiram nos escores para intenção de compra (Figura 6). As amostras de chocolate com adição extrato de jambu foram as que tiveram as maiores porcentagens para “certamente não compraria” nas três Regiões. As porcentagens de intenção de compra para os chocolates com os outros extratos foram divergentes nas regiões avaliadas. É possível verificar que na Região Sul, as amostras com extrato de canela e guaraná tiveram porcentagens elevadas de “certamente compraria” e “provavelmente compraria”, próximas ao chocolate controle. Na Região Sudeste, as maiores porcentagens de “certamente compraria”, dentre as amostras com adição de extrato, ficaram para os chocolates com erva-mate e canela.

Já na Região Nordeste, as maiores porcentagens de “certamente compraria” foram para os chocolates com extrato de açaí e guaraná, além do controle.

Figura 8 - (Figura 6 do artigo) Resultados da intenção de compra dos chocolates. A: região Sul, B: região Sudeste e C: região Nordeste.

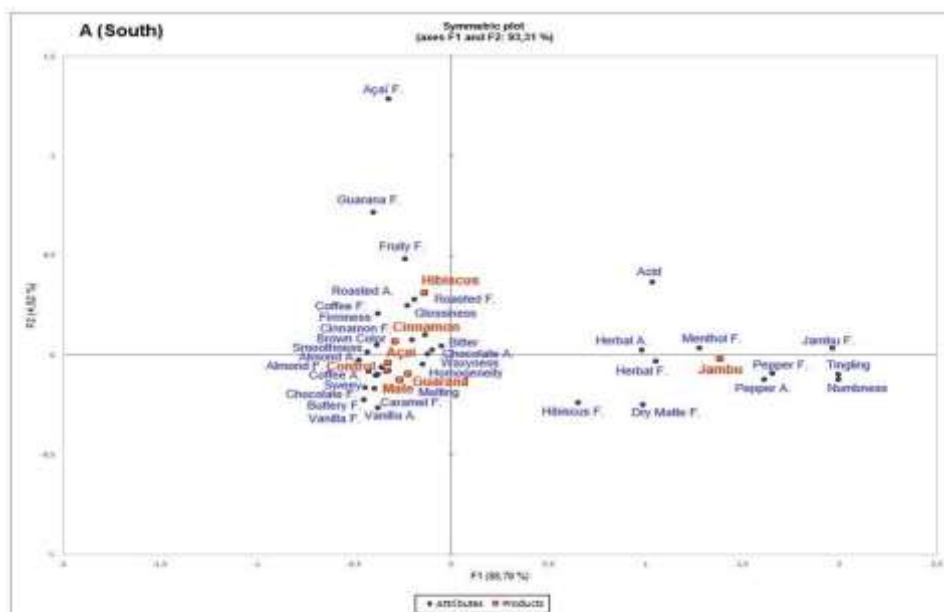


Fonte: Elaborada pelos autores.

As Figuras 7(A, B e C) mostram os resultados da caracterização das amostras de chocolates pelos consumidores. A análise de correspondência foi utilizada para visualizar o posicionamento dos termos utilizados e as formulações de chocolate, e a primeira e segunda dimensão explicaram 93,31% para os dados da Região Sul, 93,11% para os dados da Região Sudeste e 60,62% para os dados da Região Nordeste.

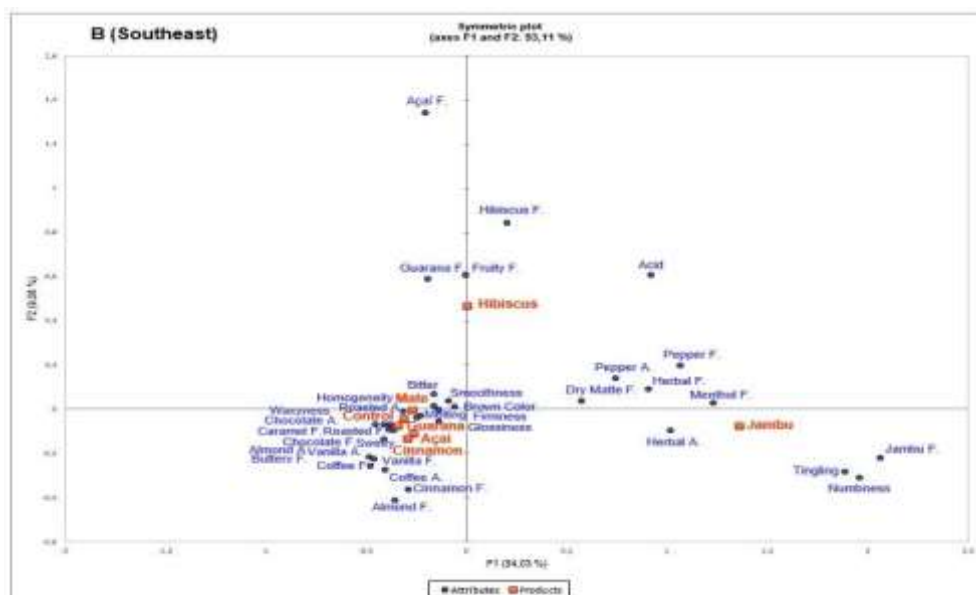
Os consumidores das três regiões caracterizaram os chocolates contendo extrato de jambu em atributos como formigamento, dormência, sabor mentol, aroma pimenta, sabor pimenta, aroma herbal, sabor herbal e sabor jambu.

Figura 9 - (Figura 7A do artigo) Resultado da Análise de Coordenadas Principais para o teste Check all That Apply, das 7 amostras de chocolates, para a região Sul.



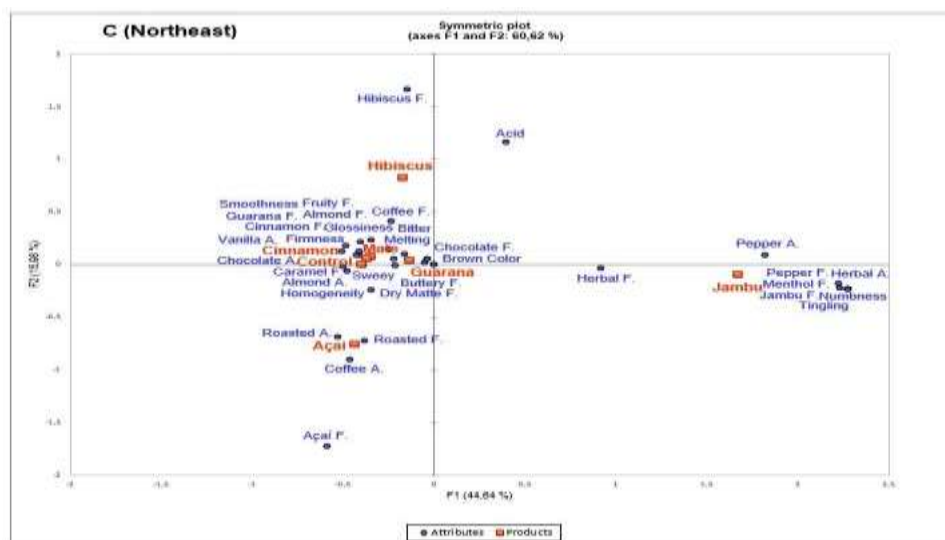
Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 10 - (Figura 7B do artigo) Resultado da Análise de Coordenadas Principais para o teste Check all That Apply, das 7 amostras de chocolates, para a região Sudeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 11 - (Figura 7C do artigo) Resultado da Análise de Coordenadas Principais para o teste Check all That Apply, das 7 amostras de chocolates, para a região Nordeste.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Belščak-Cvitanović et al., (2015) verificaram que adicionando extrato de urtiga em chocolates aumentaram o amargor e a adstringência, característicos deste extrato, diminuindo a aceitação por parte do consumidor. Como as características de formigamento e dormência são característicos da planta do jambu, essas características ficaram perceptíveis também nos chocolates elaborados com incorporação deste extrato, diminuindo a percepção de características desejáveis pelo consumidor de chocolate, como sabor de cacau e doçura.

O aroma e o sabor do cacau são os atributos de qualidade mais críticos da maioria dos produtos alimentícios derivados do cacau. Esses atributos são afetados positivamente pelos processos de fabricação e pela interação dos ingredientes adicionados (Muhammad et al., 2022).

A caracterização de alguns chocolates diferiu entre as regiões de acordo com o extrato adicionado. Para os consumidores da Região Sul, os chocolates contendo extrato de hibisco foram caracterizadas por atributos de aroma e sabor torrado. Já para os consumidores da Região Nordeste, esses atributos eram característicos dos chocolates com extrato de açaí.

O teste Check-all-that-apply (CATA), utilizado para caracterizar sensorialmente os produtos, consiste em um método simples, rápido e confiável, no qual é aplicado um questionário estruturado de múltipla escolha, apresentado ao

consumidor com uma lista de palavras/termos ou atributos em que ele pode escolher de acordo com o que considera ser aplicável ao produto. É um método baseado no consumidor e que vem ganhando notoriedade (Varela; Ares, 2012; Jaeger et al, 2013; Ares et al, 2014).

Ares e Jaeger (2015) determinaram através de pesquisa que o uso do teste CATA concomitante com teste de aceitação (avaliação hedônica) na caracterização sensorial de produtos, não provoca resultado tendencioso e parece ser uma escolha metodológica adequada para obter informações sobre preferência do consumidor e suas percepções sobre as características sensoriais dos produtos.

Para a escolha de um produto, os consumidores têm em média 2,5 segundos para tomar uma decisão entre uma ampla gama de opções nas prateleiras dos estabelecimentos. A primeira impressão desse produto, geralmente vem da embalagem, que desempenha um papel fundamental na escolha e nas decisões de compra. Restrições de tempo impedem os consumidores de processar informações detalhadas das embalagens e eles geralmente dependem de informações visuais para avaliação e escolha do produto (Velasco et al., 2014; Karnal et al., 2016; Kunz; Haasova; Florack, 2020; Steiner; Florack, 2023).

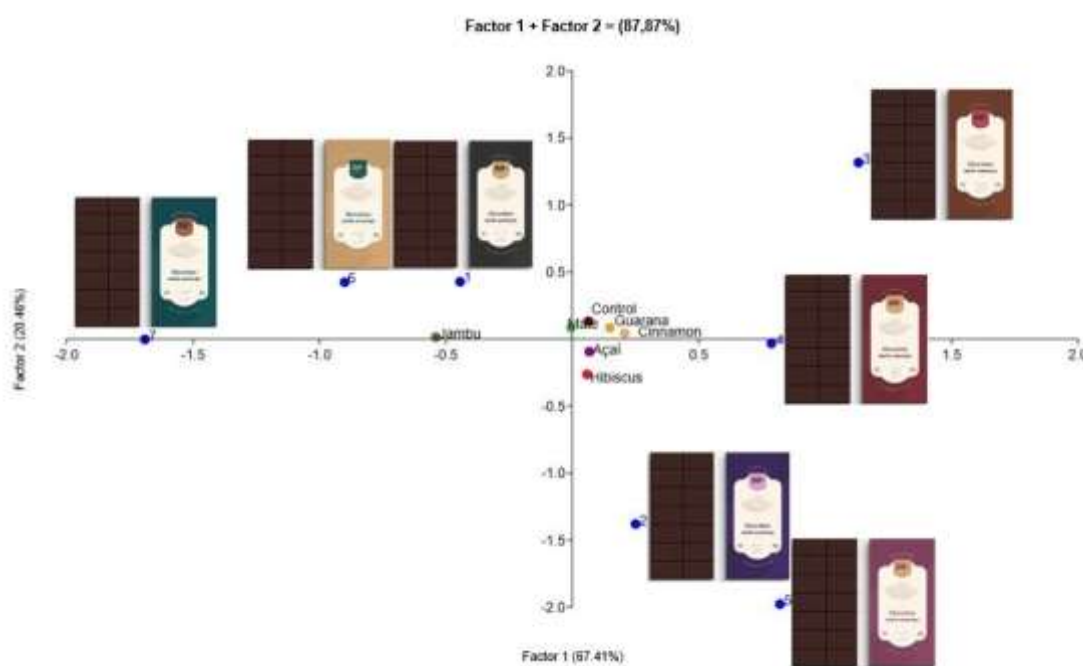
O crescente interesse em estudos com embalagens de produtos é devido à necessidade de promoção eficaz dos produtos no mercado global altamente competitivo. A embalagem desempenha um papel essencial no sucesso ou fracasso de um produto e é atualmente considerada um dos fatores mais importantes que influenciam as percepções e o comportamento de compra do consumidor. Estudos mostraram que as características da embalagem como a orientação (layout) dos elementos da embalagem, a angularidade da forma, a cor e o material da embalagem, influenciam fortemente as percepções do consumidor (Velasco et al., 2014; Becker et al., 2011; Seo; Scammon, 2017; Macht et al., 2023; Zwicker et al., 2023).

A Figura 8 apresenta o resultado da Análise de Correspondência Múltipla (ACM) da frequência de escolha das embalagens pelos consumidores do Brasil.

A embalagem desempenha um papel crucial na escolha de um produto, tanto do ponto de vista funcional quanto emocional. Ela influencia diretamente a decisão de compra dos consumidores por meio de diferentes fatores como a atração visual e *design*. A embalagem é a primeira impressão que o consumidor tem de um produto. Um *design* atraente com cores, tipografia, e imagens que se destacam pode

captar a atenção e transmitir informações importantes sobre a qualidade, tipo de produto ou estilo de vida (Sousa; Carvalho; Pereira, 2020; Berthold; Guion; Siegrist, 2024).

Figura 12 - (Figura 8 do artigo) Resultado da Análise de Correspondência Múltipla (ACM) da frequência de escolha das embalagens pelo teste de aceitação dos chocolates no Brasil.



Fonte: Elaborada pelos autores.

As cores, por exemplo, podem evocar emoções ou sugerir características específicas do produto (verde para saúde, vermelho para energia, etc.). Já o formato e estilo de uma embalagem, pode transmitir ao consumidor a sensação de um produto inovador ou diferente, que pode gerar curiosidade pela parte do consumidor (Sant'anna et al., 2022; Su; Wang, 2024).

Na Figura 8 destaca-se o chocolate com extrato de jambu. Observa-se que os consumidores escolheram as embalagens 1, 6 e 7 para representar esse chocolate. Este chocolate foi caracterizado pelos consumidores através do teste CATA como um chocolate que apresenta atributos de aroma de pimenta, aroma herbal, sabor mentol, sabor de pimenta, sabor herbal, sabor de jambu, formigamento e dormência. Estas embalagens, 6 e 7 apresentam cores amarelo claro e verde, respectivamente, que podem estar relacionadas com os atributos que remetem aromas, sabores e texturas de vegetais que transmitem uma imagem de natureza e saúde.

A embalagem 1 de cor preta, pode remeter uma sensação de um produto mais intenso ou amargo e pode estar relacionada com os atributos de formigamento e dormência. Certas cores são percebidas como pertencentes a certos gostos ou sabores como por exemplo a cor preta, o marrom e outras cores escuras são geralmente associadas com produtos de gosto amargo ou sabor mais intenso (Woods; Spence, 2016; Woods et al., 2016).

As amostras de chocolate controle, com extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco e erva-mate, foram representadas pelas embalagens de cor azul (embalagem 2) e cor vermelha (embalagem 4).

A cor da embalagem é frequentemente usada como uma ferramenta de marketing, que influencia na avaliação do produto. A cor é uma das informações de *design* mais dominantes nas embalagens dos produtos (Huang; Lu, 2016; Matthews; Simmonds; Spence, 2019; Kunz; Haasova; Florack, 2020; Marozzo et al., 2020).

Estudo feito por Hallez et al. (2023) investigaram como o *design* de embalagens com cores quentes vs. frias e a presença vs. ausência de alegações nutricionais e ecológicas influenciaram as avaliações do consumidor. Eles demonstraram que os *designs* de embalagens verdes e azuis, representando cores frias, levaram a maiores percepções de saúde e sustentabilidade. Isso pode estar relacionado à escolha da embalagem de cor verde (embalagem 7) para o chocolate com extrato de jambu.

Karnal et al., (2016) analisaram a influência da cor da embalagem (amarelo vs. vermelho) de refrigerantes nas percepções de saúde dos consumidores. Os participantes entenderam que os produtos com embalagens amarelas são mais saudáveis do que aqueles com embalagens vermelhas. Eles também perceberam que a cor amarela era menos pesada, menos quente e menos excitante do que a vermelha.

Mai, Symmank, Seeberg-Elverfeldt, (2016) encontraram uma associação entre embalagens de cores claras e percepções de saúde. Essa influência pode ser observada na escolha dos consumidores pela embalagem amarela claro (embalagem 6) para representar o chocolate com extrato de jambu e não a embalagem vermelha (embalagem 4), por estar mais distante da amostra.

A embalagem 2 que apresenta cor azul, está mais próxima das amostras de chocolates com extratos de hibisco e açaí, o que pode indicar que os consumidores associaram essa embalagem azul como um produto mais saudável.

Sant'Anna et al., (2022) estudaram os efeitos da cor da embalagem nas percepções de saúde e nas escolhas do consumidor. Eles descobriram que os consumidores associavam a embalagem azul a produtos mais saudáveis ao comprar produtos com sódio reduzido. No estudo, a cor azul da embalagem em comparação com a cor vermelha, combinada com a frase que indicava a porcentagem de redução de sódio, aumentou a probabilidade de os participantes escolherem um biscoito com sódio reduzido.

Existem algumas indicações de que o efeito das cores quentes e frias pode variar dependendo da categoria de alimentos. Com base em um estudo qualitativo, dependendo da categoria de alimentos, os consumidores podem associar as cores frias azul e verde, mas também as cores quentes amarelo e vermelho, com a saudabilidade. Por exemplo, na categoria de pizza congelada, os participantes associaram a cor vermelha com a saudabilidade e de acordo com os pesquisadores, isso provavelmente ocorreu porque foi percebido como indicativo da presença de vegetais. No entanto, para o produto iogurte, o vermelho foi associado à coloração artificial e considerado um sinal de baixa saudabilidade (Wąsowicz; Styśko-Kunkowska; Grunert, 2015).

Diferentes cores de embalagens influenciam as percepções dos consumidores sobre a salubridade de um produto e auxiliam na escolha de compra de alimentos saudáveis. Também, os efeitos da cor variam entre categorias de produtos, países e indivíduos. No entanto, atualmente não há uma teoria abrangente para explicar o quanto a cor da embalagem afeta as percepções dos consumidores (Steiner; Florack, 2023).

Conclusão

O teste de aceitação sensorial revelou variações no sabor e na impressão global dos chocolates. A adição de extrato de jambu impactou negativamente na aceitação nas três regiões avaliadas. Para os chocolates com adição de extrato de açaí, canela e guaraná nenhuma mudança sensorial significativa foi observada, com

essas amostras demonstrando desempenho semelhante ao chocolate controle para a maioria dos atributos avaliados. Alguns atributos sensoriais foram afetados pela adição de hibisco nas Regiões Sul e Sudeste, e de erva-mate na Região Nordeste.

O teste JAR confirmou o impacto da adição de extratos vegetais em atributos como maciez e derretimento. Os atributos formigamento e dormência influenciaram no perfil sensorial dos chocolates, levando a uma diminuição da impressão global para os chocolates com adição de extrato de jambu, em todas as regiões avaliadas.

A incorporação de extratos vegetais em chocolates amargos, destaca-se pelo grande potencial de inovação que essa abordagem representa para a indústria de alimentos. A maioria dos extratos testados, como açaí, canela, guaraná e erva-mate, preservaram o sabor característico do chocolate e com isso, os chocolates apresentaram uma aceitação sensorial pelos consumidores.

O teste TDS permitiu uma análise detalhada e dinâmica dos atributos sensoriais dos chocolates, oferecendo uma visão aprofundada da evolução das percepções ao longo do tempo. Esta análise proporcionou informações importantes sobre como cada extrato vegetal influenciou a experiência de consumo, como a acidez do hibisco ou o formigamento do jambu.

A análise de preferências de embalagens, destacou a influência das cores e *design*, que também é um aspecto importante, sugerindo que a percepção visual do produto pode ser estrategicamente utilizada para aumentar a aceitação e intenção de compra.

A adição de extratos vegetais a chocolates amargos é uma alternativa promissora, capaz de agregar valor sensorial e funcional, ao mesmo tempo que apresenta oportunidades para inovação no mercado de chocolates saudáveis e *gourmet*.

Referências

BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A. et al. Nettle (*Urtica dioica* L.) extracts as functional ingredients for production of chocolates with improved bioactive composition and sensory properties. *Journal of food science and technology*, v. 52, p. 7723-7734, 2015.

BERTHOLD, A.; GUION, S.; SIEGRIST, M. The influence of material and color of food packaging on consumers' perception and consumption willingness. *Food and Humanity*, v. 2, p. 100265, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foohum.2024.100265>

BIKOS, D. et al. Effect of structure on the mechanical and physical properties of chocolate considering time scale phenomena occurring during oral processing. *Food Structure*, v. 31, p. 100244, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2021.100244>

BOLENZ, S.; MANSKE, A. Impact of fat content during grinding on particle size distribution and flow properties of milk chocolate. *European Food Research and Technology*, v. 236, p. 863-872, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-013-1944-7>

BOLENZ, S.; MANSKE, A.; LANGER, M. Improvement of process parameters and evaluation of milk chocolates made by the new coarse conching process. *European Food Research and Technology*, v. 238, p. 863-874, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2165-4>

BURKARD, J. et al. Exploring the effects of structure and melting on sweetness in additively manufactured chocolate. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 8261, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58838-6>

BYRNE, D. V. (2020). Current trends in multidisciplinary approaches to understanding consumer preference and acceptance of food products. *Food*, 9, 1380. <https://doi.org/10.3390/foods9101380>

CHUQUIPOMA, D. et al. Evaluación sensorial de cereales de chocolate utilizando el método de dominancia temporal de sensaciones (TDS) y mapeo de preferencia. *Journal of Neuroscience and Public Health*, v. 2, n. 3, p. 273-280, 2022.

CIVILLE, G. V.; CARR, B. T.; MEILGAARD, M. (2015). *Sensory evaluation techniques* (5th ed.). CRC Press.

CIVILLE, G. V.; CARR, B. T.; OSDOBA, K. E. *Sensory evaluation techniques*. CRC press, 2024.

DALLAZEN, J. L.; MARIA-FERREIRA, D.; LUZ, B. B.; NASCIMENTO, A. M.; CIPRIANI, T. R.; SOUZA, L. M.; FELIPE, L. P. G.; SILVA, B. J. G.; NASSINI, R.; PAULA WERNER, M. F. Pharmacological potential of alkylamides from *Acmella oleracea* flowers and synthetic isobutylalkyl amide to treat inflammatory pain. *Inflammopharmacology*. 2020; 28:175–186. doi: 10.1007/s10787-019-00601-9.

FRANZEN, F. L., FRIES, L. L. M., DE OLIVEIRA, M. S. R., LIDÓRIO, H. F., MENEGAES, J. F., LOPES, S. J. Teor e rendimento de extratos de flores obtidos por diferentes métodos e períodos de extração. *Acta Iguazu*, v. 7, n. 1, p. 9-21, 2018. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v7i1.16765>

FRANZEN, F. L., MENEGAES, J. F., DA ROSA, J. R., PIGATTO, G. M., LIDÓRIO, H. F., BACKES, F. A. A. L., DE OLIVEIRA, M. S. R. Antioxidant and Antimicrobial Activity of Edible Flower Extracts Obtained by Different Extraction Methods. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, v. 25, n. 4, p. 513-520, 2021. <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n4p513-520>

FRANZEN, F. L., RICHARDS, N. S. P. S., DE OLIVEIRA, M. S. R., BACKES, F. A. A. L., MENEGAES, J. F., ZAGO, A. P. Characteristics and nutritional quality of petals

ornamental flowers. *Acta Iguazu, Cascavel*, v.5, n.3, p.58-70, 2016. DOI: [10.48075/actaiguaz.v5i3.15834](https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v5i3.15834)

HALLEZ, L. et al. Persuasive packaging? The impact of packaging color and claims on young consumers' perceptions of product healthiness, sustainability and tastiness. *Appetite*, v. 182, p. 106433, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2022.106433>

HŘIVNA, L. et al. Texture, color, and sensory changes occurring in chocolate bars with filling during storage. *Food science & nutrition*, v. 9, n. 9, p. 4863-4873, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2434>

HUANG, L.; LU, J. The impact of package color and the nutrition content labels on the perception of food healthiness and purchase intention. *Journal of food products marketing*, v. 22, n. 2, p. 191-218, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1080/10454446.2014.1000434>

KARNAL, N. et al. Healthy by design, but only when in focus: Communicating non-verbal health cues through symbolic meaning in packaging. *Food Quality and Preference*, v. 52, p. 106-119, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.04.004>

KARNAL, N. et al. Healthy by design, but only when in focus: Communicating non-verbal health cues through symbolic meaning in packaging. *Food Quality and Preference*, v. 52, p. 106-119, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.04.004>

KOCH, E. C. Preconceptions of taste based on color. *The Journal of psychology*, 137 (3), p. 233-242, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1080/00223980309600611>

KUNZ, S.; HAASOVA, S.; FLORACK, A. Fifty shades of food: The influence of package color saturation on health and taste in consumer judgments. *Psychology & Marketing*, v. 37, n. 7, p. 900-912, 2020. <https://doi.org/10.1002/mar.21317>

KUNZ, S.; HAASOVA, S.; FLORACK, A. Fifty shades of food: The influence of package color saturation on health and taste in consumer judgments. *Psychology & Marketing*, v. 37, n. 7, p. 900-912, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/mar.21317>

LACERDA, R. C., ANDERSEN, G. H., JUNGE, J. Y., KIDMOSE, U., BOLINI, H. M. Perception and acceptance of natural sweeteners in a plant-based cocoa-flavored ice cream: Difference between Danish and Brazilian consumers. *Journal of Sensory Studies*, v. 39, n. 1, p. e12890, 2024. <https://doi.org/10.1111/joss.12890>

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. (2010). *Sensory evaluation of food. Principles and practices* (2nd ed.). Springer.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science & Business Media, 2010.

LEE, S.-Y. et al. Consumer acceptance of whey-protein-coated as compared with shellac-coated chocolate. *Journal of food science*, v. 67, n. 7, p. 2764-2769, 2002.

LÉVY, C. M.; MACRAE, A.; KÖSTER, E. P. Perceived stimulus complexity and food preference development. *Acta psychologica*, v. 123, n. 3, p. 394-413, 2006. DOI: [10.1016/j.actpsy.2006.06.006](https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2006.06.006)

LOURO, T., SIMÕES, C., LIMA, W., CARREIRA, L., CASTELO, P. M., LUIS, H., MOREIRA, P., LAMY, E. (2021). Salivary protein profile and food intake: A dietary pattern analysis. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 15, 6629951. <https://doi.org/10.1155/2021/6629951>

MAI, R.; SYMMANK, C.; SEEBERG-ELVERFELDT, B. Light and pale colors in food packaging: When does this package cue signal superior healthiness or inferior tastiness?. *Journal of Retailing*, v. 92, n. 4, p. 426-444, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jretai.2016.08.002>

MARCHIORETTO, C., LUCCAS, V., GORUP, L. F., GOMES, R. A. B., SIMIONATTO, E., DE OLIVEIRA, K. M. P., DE ARAÚJO, R. P., ALTEMIO, Â. D. C., PORZANI, G. B., MARTELLI, S. M., DE ARRUDA, E. J. Nutritional value and acceptability of chocolate with high cocoa content and green banana biomass. *LWT*, v. 191, p. 115667, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115667>

MAROZZO, V. et al. Effects of au naturel packaging colors on willingness to pay for healthy food. *Psychology & Marketing*, v. 37, n. 7, p. 913-927, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/mar.21294>

MATTHEWS, P.; SIMMONDS, G.; SPENCE, C. Establishing boundary conditions for multiple design elements congruent with taste expectations. *Food Quality and Preference*, v. 78, p. 103742, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103742>

MEILLON, S. et al. Impact of partial alcohol reduction in Syrah wine on perceived complexity and temporality of sensations and link with preference. *Food Quality and Preference*, v. 21, n. 7, p. 732-740, 2010. DOI: [10.1016/j.foodqual.2010.06.005](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.06.005)

MOKBUL, M.; CHEOW, Y. L.; SLOW, L. F. Physical properties, sensory profile and storage stability of compound chocolates made with cocoa butter replacer consisting of mango kernel fat and rice bran oil. *Food Chemistry Advances*, v. 3, p. 100515, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100515>

MONTEIRO, M. J. P., COSTA, A. I. A., FLIEDEL, G., Cissé, M., BECHOFF, A., PALLET, D., ... PINTADO, M. M. E. Chemical-sensory properties and consumer preference of hibiscus beverages produced by improved industrial processes. *Food Chemistry*, v. 225, p. 202-212, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.127>. Acesso em: 05 jun. 2024.

MUHAMMAD, D.R.A., FIBRI, D.L.N., PRAKASH, S. (2022). Improving the Functionality of Chocolate by Incorporating Vegetal Extracts. In: Galanakis, C.M. (eds) *Trends in Sustainable Chocolate Production*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-90169-1_4

OWUSU, M. Influence of raw material and processing on aroma in chocolate. Tese de Doutorado. University of Copenhagen, Faculty of Life Sciences, Department of Food

Science, Denmark (2010).
<https://csirspace.foodresearchgh.site/handle/123456789/1027>

PALCZAK, J. et al. Sensory complexity and its influence on hedonic responses: A systematic review of applications in food and beverages. *Food Quality and Preference*, v. 71, p. 66-75, 2019. DOI: 10.1016/j.foodqual.2018.06.002

PALMER, S. E.; SCHLOSS, K. B. An ecological valence theory of human color preference. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107 (19), p. 8877-8882, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0906172107>

PINEAU, N. et al. Temporal Dominance of Sensations: Construction of the TDS curves and comparison with time–intensity. *Food Quality and Preference*, v. 20, n. 6, p. 450-455, 2009. DOI: 10.1016/j.foodqual.2009.04.005

PIRES, I. V.; DA SILVA, A. E. Caracterização e capacidade antioxidante do jambu (*Spilanthes oleracea* L.) in natura procedente do cultivo convencional e de hidroponia. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 10, p. 74624-74636, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-040

SANT'ANNA, A. C. et al. The influence of packaging colour on consumer expectations of coffee using free word association. *Packaging Technology and Science*, v. 35, n. 8, p. 629-639, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/pts.2675>

SANT'ANNA, L. J. et al. How to inform about sodium reduction on food labels?. *Journal of Sensory Studies*, v. 37, n. 5, p. e12768, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/joss.12768>

SILVA, A. E. DA, CHAVES, J. B. P., RIBEIRO, S. DA C. A., PUSCHMANN, R., & VASCONCELOS, C. M. (2020). Sensory profile of minimally processed Jambu / Perfil sensorial da Jambu minimalmente processada. *Brazilian Journal of Development*, 6(4), 21738–21753. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-371>

SILVA, A. P. S. Avaliação do teor de espilantol no ciclo de cultura de duas cultivares de *Acmella oleracea* (L.) R. K. Jansen em extratos obtidos por extração supercrítica. Orientador: Raul Nunes de Carvalho Junior. 2018. 49 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br:8080/jspui/handle/2011/14490>. Acesso em: 12 de jul. 2024

SOUSA, M. M. M.; CARVALHO, F. M.; PEREIRA, R. G. F. A. Colour and shape of design elements of the packaging labels influence consumer expectations and hedonic judgments of specialty coffee. *Food Quality and Preference*, v. 83, p. 103902, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.103902>

SPENCE, C. Crossmodal correspondences: A tutorial review. *Atten Percept Psychophys* 73, 971–995, 2011. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13414-010-0073-7>

SPENCE, C. Managing sensory expectations concerning products and brands: Capitalizing on the potential of sound and shape symbolism. *Journal of consumer psychology*, 22, p. 37-54, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.09.004>

STEINER, K; FLORACK, A. The influence of packaging color on consumer perceptions of healthfulness: a systematic review and theoretical framework. *Foods*, v. 12, n. 21, p. 3911, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12213911>

SU, J.; WANG, S. Influence of food packaging color and foods type on consumer purchase intention: the mediating role of perceived fluency. *Frontiers in Nutrition*, v. 10, p. 1344237, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1344237>

TANG, J. et al. Textural complexity model foods assessed with instrumental and sensory measurements. *Journal of Texture Studies*, v. 48, n. 1, p. 9-22, 2017. DOI: 10.1111/jtxs.12188

THOMSON, D. M. H.; CROCKER, C.; MARKETO, C. G. Linking sensory characteristics to emotions: An example using dark chocolate. *Food quality and Preference*, v. 21, n. 8, p. 1117-1125, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2010.04.011>

TOKER, O.S.; KONAR, N.; PIROUZIAN, H.R.; OBA, S.; POLAT, D.G; PALABIYIK, I.; POYRAZOGLU, E.S.; SAGDIC, O. Developing functional white chocolate by incorporating diferente forms of EPA and DHA-Effects on product quality. *LWT-Food Science and Technology*. v.87, p.177 185, 2018.

TORBICA, A. M. et al. Physical properties of chocolate with addition of cocoa butter equivalent of moderate hardness. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, v. 91, p. 39-48, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11746-013-2357-2>

TRINDADE JUNIOR, O. C., CHAVES, E. M. F., DE BARROS, R. F. M. Ethnoknowledge About Vinagreira (roselle) (*hibiscus sabdariffa* L.) Among residents of Rural Communities in Maranhão, Northeast Brazil. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 18, n. 3, p. e04725-e04725, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n3-063>

VALDIVIA-CULQUI, J. E. et al. Oleogel Systems for Chocolate Production: A Systematic Review. *Gels*, v. 10, n. 9, p. 561, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels10090561>

VELASCO, C. et al. Predictive packaging design: Tasting shapes, typefaces, names, and sounds. *Food Quality and Preference*, v. 34, p. 88-95, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.12.005>

WANG, C. Y.; CHANG, F. Y. The influence of packaging color on taste expectations and perceptions. *Color Research & Application*, v. 47, n. 6, p. 1426-1441, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1002/col.22812>

WĄSOWICZ, G.; STYŚKO-KUNKOWSKA, M.; GRUNERT, K. G. The meaning of colours in nutrition labelling in the context of expert and consumer criteria of evaluating food product healthfulness. *Journal of health psychology*, v. 20, n. 6, p. 907-920, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1177/1359105315580251>

WATANABE, G. et al. A novel quantitative method for evaluating food sensory complexity using the temporal dominance of sensations method. *Food Quality and*

Preference, v. 112, p. 105005, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105005>.

WEISS, C. R., OLIVEIRA, L. D., SOUZA, Â. R. L. D., BENAVIDES, Z. A. C. Alternative channels for marketing Brazilian cocoa/chocolate. Mendonça, Moisés de (Org.). Agronegócio: técnicas, inovação e gestão. Guarujá, SP: Científica, 2021. p. 49-67, Cap. 04, 2021. <http://hdl.handle.net/10183/232455>

WOODS, A. T., MARMOLEJO-RAMOS, F., VELASCO, C., SPENCE, C. Using Single Colors and Color Pairs to Communicate Basic Tastes II: Foreground–Background Color Combinations. I-Perception, 7(5). 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/2041669516663750>

WOODS, A. T.; SPENCE, C. Using Single Colors and Color Pairs to Communicate Basic Tastes. I-Perception, 7(4). 2016. DOI: <https://doi.org/10.1177/2041669516658817>

WRIGHT, K. The Fattier the Surface, the Silkier the Chocolate. Physics, v. 16, p. 18, 2023. Disponível em: <https://physics.aps.org/articles/v16/18>

CAPÍTULO 5 – Manuscrito Científico

Manuscrito científico com os resultados das análises sensoriais descritiva, intitulado “Perfil sensorial descritivo de chocolates amargos elaborados com extratos vegetais”, em fase de revisão final pelos autores para submissão ao periódico *Journal of Food Science*.

Perfil sensorial descritivo de chocolates amargos elaborados com extratos vegetais

Felipe de Lima Franzen¹, Pedro Pio Campregher Augusto¹, Isabela Portelinha Tonin¹, Alessandra Cazellatto de Medeiros¹, Valdecir Luccas², Helena Maria André Bolini¹

1 Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Ciência Sensorial e Estudo de consumidor, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP – Brasil.

2 Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate (Cereal Chocotec), Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Campinas, SP – Brasil.

Resumo: O estudo teve como objetivo caracterizar o perfil sensorial de chocolates amargos adicionados com extratos vegetais, utilizando a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ) e o teste de Tempo-Intensidade (TI). Foram elaboradas sete amostras de chocolate, sendo seis com adição de extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate, além de uma amostra controle sem extrato. Os resultados da ADQ indicaram que os chocolates com extratos apresentaram perfis sensoriais distintos, com descritores como doçura, amargor e aroma de cacau sendo os principais responsáveis pela diferenciação entre as amostras. A análise de Componentes Principais (PCA) revelou que as amostras com extratos de hibisco e jambu se destacaram por apresentarem maior acidez e aromas florais, enquanto a amostra de canela mostrou um equilíbrio entre aroma de especiarias e doçura. O teste de TI demonstrou que a adição de extratos vegetais também influenciou na percepção temporal dos atributos sensoriais. A amostra com extrato de jambu foi a única a apresentar a sensação tátil de dormência, associada ao composto espilantol, enquanto os extratos de açaí, canela, guaraná e erva-mate aumentaram a percepção de doçura e prolongaram o tempo total de percepção desse gosto. Em conclusão, a adição de extratos vegetais gerou perfis sensoriais diferenciados, com potencial para atender a diferentes preferências de consumidores. O extrato de jambu destacou-se por suas características sensoriais únicas, enquanto outros extratos melhoraram atributos desejáveis como a doçura e o equilíbrio de sabor.

Palavras-chave: Cacau; ADQ; T-I; Atributos Sensoriais.

Introdução

Os testes sensoriais descritivos, como a Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®) e o Tempo-Intensidade (T-I), são amplamente utilizados na indústria de alimentos para caracterizar, quantificar e monitorar a percepção sensorial de produtos. Esses testes oferecem uma visão detalhada das propriedades sensoriais, ajudando no desenvolvimento de novos produtos e na avaliação de sua qualidade (Masi et al., 2015; Louro et al., 2021; Roukka et al., 2021).

Quando aplicada ao chocolate, um alimento caracterizado por sua complexidade sensorial, a análise sensorial permite explorar atributos fundamentais, como a intensidade do sabor chocolate, a doçura, o amargor, a cremosidade, o tempo de derretimento, o residual de sabor e alguma sensação tátil química percebida (Bhumiratana; Adhikari; Chambers, 2011).

A Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®) é um dos métodos mais robustos e consiste em um painel de provadores treinados que avaliam os atributos sensoriais, como aparência, aroma, sabor e textura, de maneira objetiva e com escalas numéricas. Este método é útil para a diferenciação precisa entre formulações de alimentos ou para ajustes de processo, proporcionando dados quantitativos que podem ser correlacionados com preferências de consumidores (Stone; Bleibaum; Thomas, 2020).

No caso de chocolates, a ADQ® pode ser usada para descrever a intensidade de atributos como doçura, amargor, cremosidade e sabor chocolate. Por exemplo, diferentes tipos de chocolate (amargo, ao leite, branco) podem ser comparados quanto à intensidade de sabor e a percepção de cremosidade (Rocha; Bolini, 2015; Medeiros; Tavares; Bolini, 2022).

O teste Tempo-Intensidade complementa a ADQ® ao avaliar a evolução de um atributo sensorial específico ao longo do tempo, proporcionando uma análise dinâmica da percepção. Esse método é particularmente relevante em produtos onde os atributos sensoriais mudam durante o consumo. Aplicado ao chocolate, o teste TI pode medir como a percepção de doçura ou amargor evolui desde o momento da ingestão do alimento até a dissolução completa do produto na boca, fornecendo informações sobre a liberação e percepção dos compostos responsáveis por essas sensações (Lawless et al., 1999; Palazzo; Bolini, 2014).

Ambos os métodos permitem uma análise aprofundada das características sensoriais de alimentos e são essenciais para o desenvolvimento de produtos que atendam às expectativas do consumidor. No caso dos chocolates, esses testes ajudam a ajustar formulações para maximizar atributos desejados, como suavidade e sabor, enquanto minimizam características indesejadas, como excesso de amargor ou textura arenosa (Masi et al., 2015; Stone; Bleibaum; Thomas, 2020; Louro et al., 2021; Roukka et al., 2021).

A combinação desses métodos sensoriais avançados oferece à indústria do chocolate ferramentas precisas para otimizar os processos de desenvolvimento de produtos e ajuste de formulações, garantindo que o produto final atenda às expectativas sensoriais dos consumidores. Além disso, esses testes permitem a avaliação de como mudanças nos ingredientes, como adição de extratos vegetais, impactam a aceitação sensorial, proporcionando um embasamento técnico robusto para inovações no mercado de chocolates (Bhumiratana; Adhikari; Chambers, 2011; Rocha; Bolini, 2015; Medeiros; Tavares; Bolini, 2022).

Assim, o objetivo da pesquisa foi avaliar o perfil sensorial descritivo de chocolates elaborados com extratos vegetais, caracterizar perfis sensoriais diferenciados para atender aos diferentes segmentos de consumidores deste produto.

Material e Métodos

Obtenção das Matérias-primas

Os extratos vegetais foram adquiridos da empresa Givaudan® (CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil) por meio de doação (Tabela 1). Os ingredientes para a elaboração dos chocolates foram adquiridos das empresas Cargill Inc, Brasil, também por meio de doação, conforme segue especificação: Líquor de cacau natural NA700 (lote 0019609681, Cargill Inc, Brasil); manteiga de cacau desodorizada (lote 0021428436, Cargill Inc, Brasil); lecitina de soja (lote 0018175203, Cargill Inc, Brasil); sacarose açúcar cristal refinado (lote 150721, Açúcareira Boa Vista, Limeira, SP, Brasil); leite em pó integral (lote 2118B41, Piracanjuba®, Bela Vista de Goiás, Goiás, Brasil) e leite em pó desnatado (lote 2141B46, Piracanjuba®, Bela Vista de Goiás, Goiás, Brasil). Todos os ingredientes foram armazenados em local apropriado, protegido da luz e de umidade, até o momento do uso.

Tabela 12 - (Tabela 1 do artigo) Extratos vegetais utilizados na pesquisa.

Nome científico	Nome popular	Código	Descrição do produto
<i>Euterpe oleraceae</i> Martius.	Açaí	100343	Polpa Desidratada de Açaí Min. 0,3% Polifenóis Totais calculados como ácido gálico. Lote: 110918.00652
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume	Canela	200064	Canela Extrato Seco. Lote: 251018.00885
<i>Paullinia cupana</i> Kunth	Guaraná	100350	Guaraná Extrato Seco Orgânico 9-11% Metilxantinas Totais calculadas como cafeína. Lote: 160119.01153
<i>Hibiscus sabdariffa</i> DC.	Hibiscus	100101	Chá Hibiscus Desidratado NFI: BF7E415D-7171-4FF8-BD2E-D8B58599A2E5 Lote: 020119.01090
<i>Spilanthes oleraceae</i> L.	Jambu	100390	Jambu Extrato Concentrado Mín. 10% Espilantol Lote 050618.00247
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	Erva-mate	100383	Mate Extrato Seco Orgânico 1,8 – 2,7% Metilxantinas Totais calculadas como cafeína. Lote: 080618.00277

Fonte: Givaudan® (CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil).

Elaboração dos chocolates

Os chocolates foram produzidos nas instalações do Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate (Cereal Chocotec), no Instituto de Tecnologia de Alimentos (Ital), que permitiu a produção em escala piloto do produto. Foram produzidas um total de sete amostras de chocolate amargo, sendo seis amostras adicionadas de extratos vegetais e uma amostra controle sem adição de extrato vegetal (Tabela 2). As formulações foram definidas de acordo com Franzen et al., (2025) e de acordo com a legislação brasileira, Resolução RDC nº 723, de 1 de julho de 2022.

Para o desenvolvimento dos chocolates, foram feitas bateladas de 5 kg de amostra para a realização dos testes sensoriais Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®) e o teste Tempo-Intensidade (TI). Para essa pesquisa, foram produzidos seis diferentes lotes de chocolate contendo os seguintes extratos descritos na Tabela 1, mais o lote controle.

Tabela 13 - (Tabela 2 do artigo) Porcentagem dos ingredientes da formulação dos chocolates com adição dos diferentes extratos vegetais.

Ingredientes (%)	Amostras						
	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM
Massa de cacau	35	35	35	35	35	35	35
Manteiga de cacau	15	15	15	15	15	15	15
Açúcar	33,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5
Leite em pó integral	12	12	12	12	12	12	12
Leite em pó desnatado	4	4	4	4	4	4	4
Lecitina de soja	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
*Extrato vegetal	0	1	1	1	1	1	1

Fonte: Formulação criada por Franzen et al., (2025).

*extratos de Açaí, Canela, Guaraná, Hibisco, Jambu e Erva-mate. CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; CM: chocolate com extrato de erva-mate; e Controle: formulação base sem extrato.

Análises Sensoriais

As análises sensoriais Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®) e Tempo-Intensidade (TI) foram realizadas no Laboratórios de Ciência Sensorial e Estudo de Consumidor da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP, em cabines individuais climatizadas (21°C) e com iluminação adequada, atendendo às normas ISO 8589:2007.

As metodologias sensoriais utilizadas neste estudo foram Análise Descritiva Quantitativa e Tempo-Intensidade, realizadas de acordo com as normas ISO 13299:2017 (Versão corrigida 2021) e ISO 11136:2016 (versão corrigida 2022). O estudo foi submetido ao Comitê de Ética e Pesquisa com Seres Humanos da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) e aprovado sob nº CAAE 18709019.4.0000.5404.

Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®)

Para a realização da ADQ®, um total de 23 pessoas da comunidade da Universidade Estadual de Campinas foram selecionados como assessores por meio da análise sequencial de WALD's (Civille; Carr; Osdoba, 2024). Essa análise sequencial é um método estatístico utilizado para tomada de decisões rápidas e eficientes em testes sensoriais, quando o objetivo é determinar se há uma diferença

significativa entre duas amostras ou entre uma amostra e um controle, com base em um número mínimo de observações.

Para esta primeira etapa de seleção foi realizado um teste triangular, em que o painelista teve que identificar entre três amostras, a amostra diferente. O teste triangular foi realizado com produto achocolatado e o atributo analisado foi sabor de cacau. Os assessores tinham entre 20 e 40 anos, dos gêneros feminino e masculino e avaliaram duas amostras de achocolatado (A = 5% cacau e B = 7% cacau). O achocolatado A foi composto por 75g de leite em pó integral, 62,5g de açúcar, 25g de cacau em pó alcalino e 0,5g de goma carragena. Já o achocolatado B foi composto por 75g de leite em pó integral, 62,5g de açúcar, 35g de cacau em pó alcalino e 0,5g de goma carragena.

Na segunda etapa, o método de rede (Moskowitz, 1983) foi aplicado para definir os termos descritivos das amostras. Os 23 assessores selecionados receberam uma combinação pareada das amostras dos chocolates elaborados com os extratos vegetais e individualmente descreveram suas semelhanças e diferenças em relação à aparência, aroma, sabor e textura.

Na sequência, os assessores discutiram em conjunto, em reuniões, os termos escolhidos por cada indivíduo e, com a supervisão do líder do painel, definiram os termos descritores que descreveram adequadamente os atributos avaliados entre as amostras, informando suas definições e sugerindo referências de mínimo e máximo, para fins de treinamento (Oliver et al., 2018).

A Tabela 3 mostra os 27 termos descritores sensoriais gerados consensualmente pelos assessores, suas definições e referências utilizadas no treinamento.

Tabela 14 - (Tabela 3 do artigo) Definições dos termos descritivos e padrões de referência escolhidos pelo grupo de assessores selecionados para realização da ADQ.

Atributo	Definição	Referências
Aparência		
Brilho	Percepção visual da luz refletida na superfície da amostra	Mínimo: Líquor de cacau natural da empresa Cargill Inc Máximo: Sobremesa láctea sabor chocolate Danette®
Cor marrom	Percepção visual da cor marrom característica de chocolate, na superfície da amostra	Mínimo: Chocolate ao leite Lindt® Máximo: Chocolate Lindt® amargo 90% cacau
Homogeneidade Aparente	Uniformidade do chocolate	Mínimo: Cookie sabor chocolate da marca Nestlé® Máximo: Sobremesa láctea sabor chocolate Danette®
Aroma		
Cacau	Percepção olfativa do aroma de Líquor de cacau ao cheirar a amostra	Mínimo: Achocolatado Toddynho® Máximo: Líquor de cacau natural da empresa Cargill Inc
Canela	Percepção olfativa do aroma de canela-da-china, ao cheirar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Mistura de 3g de canela-da-china em pó (Kitano®) com 10 g de extrato seco de canela da empresa Givaudan®
Cítrico	Percepção olfativa do aroma cítrico, ao cheirar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Raspas de cascas de 2 unidades de lima ácida (<i>Citrus latifolia</i>), conhecida popularmente por limão-taiti
Doce	Percepção olfativa do aroma doce (sacarose), ao cheirar a amostra	Mínimo: Líquor de cacau natural da empresa Cargill Inc Máximo: Chocolate Hershey's® branco
Floral	Percepção olfativa do aroma de flores e suas notas florais, ao cheirar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Mistura de 10 g de extrato de hibisco desidratado da empresa Givaudan® e 1 sachê (1,5g) de chá de camomila (Ahmad Tea®)

Frutado	Percepção olfativa do aroma de frutas e suas notas frutais, ao cheirar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Mistura de 1 sachê (2g) de chá de frutas vermelhas (Ahmad Tea®) e 1 sachê (2g) de chá de Pêssego & Maracujá (Ahmad Tea®)
Herbal	Percepção olfativa do aroma de ervas e suas notas herbáceas, características de chás de ervas, ao cheirar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Mistura de 1 sachê (1,5g) de Chá de erva doce (Taeq®) e 1 sachê (1,6g) de chá mate tostado (Matte leão® original)
Lácteo	Percepção olfativa do aroma de leite, ao cheirar a amostra	Mínimo: Reconstituição de 1g de leite em pó integral (Piracanjuba®) em 100 mL de água potável filtrada (1:100 = p/v) Máximo: Reconstituição de 150g de leite em pó integral (Piracanjuba®) em 1.000 mL de água potável filtrada
Sabor		
Gosto Ácido	Percepção da intensidade do gosto ácido, que faz salivar ao provar a amostra, tipo mousse de limão suave ou iogurte natural	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Solução de 3 g de ácido cítrico P.A. (Ecibra®), diluídos em 400 mL de água potável filtrada
Gosto Amargo	Percepção da intensidade do gosto amargo ao provar a amostra, característico de chocolate amargo ou café sem açúcar	Mínimo: Chocolate ao leite Hershey's® Máximo: Chocolate Lindt® amargo 90% cacau
Canela	Percepção da intensidade do sabor da canela-da-china ao provar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Solução de 20 g de canela-da-china em pó (Kitano®) em 1.000 mL de água potável filtrada
Chá Mate	Percepção da intensidade do sabor de chá mate tostado ao provar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Solução de 8g (5 sachês) de chá mate tostado (Matte leão® original), em 1.000 mL de água potável filtrada

Chocolate	Percepção do sabor característico de um chocolate amargo, sem que o sabor de algum elemento se sobressaia aos demais, ao provar a amostra	Mínimo: Chocolate ao leite Milka® Máximo: Chocolate amargo Hershey's® tradicional 73% de cacau
Gosto Doce	Percepção da intensidade do gosto doce que surge na boca ao provar a amostra	Mínimo: Chocolate amargo Hershey's® tradicional 73% de cacau Máximo: Chocolate Hershey's® branco
Frutado	Percepção da intensidade do sabor de frutas e suas notas frutais ao provar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Solução de uma mistura de 4 sachês (8g) de chá de frutas vermelhas (Ahmad Tea®), 4 sachês (6g) de chá de camomila (Ahmad Tea®) e 2 sachês (4g) de chá de Pêssego & Maracujá (Ahmad Tea®), em 1.000 mL de água potável filtrada
Jambu	Percepção da intensidade do sabor da planta jambu ao provar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Extrato concentrado de Jambu da empresa Givaudan®
Lácteo	Percepção da intensidade do sabor de leite ao provar a amostra	Mínimo: Reconstituição de 1g de leite em pó integral (Piracanjuba®) em 100 mL de água potável filtrada (1:100 = p/v) Máximo: Reconstituição de 150g de leite em pó integral (Piracanjuba®) em 1.000 mL de água potável filtrada
Gosto Amargo Residual	Percepção da intensidade do gosto amargo que fica na boca após a amostra ser engolida	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Solução de cacau em pó (Nestlé® 100% cacau), diluído em água potável filtrada na proporção de 1:10 = p/v (40g em 400mL) com adição de 0,2g de cafeína (Sigma-Aldrich®)
Textura		
Derretimento	Percepção da facilidade da amostra de derreter quando colocada na boca	Mínimo: Chocolate ao leite “guarda-chuva” (Ki-kakau®) Máximo: Chocolate ao leite Lindt®

Homogeneidade	Percepção do quanto a amostra é lisa quando derrete na língua, sem grumos ou arenosidade	Mínimo: Cookie sabor chocolate da marca Nestlé® Máximo: Sobremesa láctea sabor chocolate Danette®
Snap	Percepção da intensidade referente ao som e à sensação de quebra limpa e nítida ao partir ou morder o chocolate	Mínimo: Chocolate Alpino ao leite (Nestlé®) Máximo: Chocolate Lindt® amargo 90% cacau
Preenchimento na Boca	Percepção de como o chocolate se distribui, derrete e interage com as superfícies internas da boca, incluindo a língua, o palato e as gengivas	Mínimo: Chocolate ao leite “guarda-chuva” (Ki-kakau®) Máximo: Chocolate ao leite Lindt®
Dormência	Percepção da sensação tátil química, sentida na boca, característica da substância <i>spilanthol</i> , encontrada na planta de jambu, ao provar a amostra	Mínimo: Água potável filtrada Máximo: Extrato concentrado de Jambu da empresa Givaudan®
Creiosidade	Percepção da intensidade de preenchimento na boca e recobrimento da língua pela amostra quando ela derrete	Mínimo: Chocolate ao leite “guarda-chuva” (Ki-kakau®) Máximo: Chocolate ao leite Lindt®

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na terceira etapa, foi conduzido o treinamento dos assessores com a montagem de uma mesa redonda, onde os termos descritores das amostras e suas referências foram exibidas por duas semanas. Os assessores realizaram o treinamento por pelo menos quatro vezes para que pudessem reter na memória e reconhecer os atributos avaliados nas amostras de chocolates elaborados com os extratos vegetais.

Na quarta etapa, os assessores realizaram os testes de determinação de intensidade para cada um dos termos descritores. Em cabines individuais, foi utilizada uma escala de intensidade linear de 9 cm (não estruturada), com apresentação monádica sequencial das sete amostras, avaliadas em quadruplicata (Stone, 2018).

Os resultados foram analisados pelo Statistical Analysis System (SAS) (2008), expressos pela Análise de Variância (ANOVA) com duas fontes de variação entre amostra e referência, para cada atributo e cada painelista, onde os valores de p do teste F foram obtidos tanto para amostra quanto para repetição. Com essa análise, os assessores foram selecionados de acordo com sua capacidade discriminatória (valor de $p \leq 0,30$), replicação (valor de $p > 0,05$) e concordância com o restante do painel.

Após os testes anteriores, os 23 assessores foram selecionados para realizar uma nova avaliação das sete amostras, durante 4 sessões, utilizando uma escala de 9 pontos para cada termo descritivo de atributo. Os resultados da ADQ® foram obtidos pela análise dos atributos do perfil sensorial por meio da Análise de Variância (ANOVA), seguida de um teste de médias de Tukey e Análise de Componentes Principais (ACP).

Análise Tempo-Intensidade (T-I)

Para a análise tempo-intensidade, foi realizada previamente uma pré-seleção dos avaliadores pela análise sequencial de WALD's (Civille; Carr; Osdoba, 2024), para selecionar potenciais avaliadores para o teste tempo-intensidade. Foram selecionados 23 assessores e foram treinados em 4 sessões de 1h cada, para aquisição de memória sensorial e concordância entre os avaliadores. O treinamento foi realizado utilizando a intensidade máxima dos estímulos avaliados (gosto amargo, gosto doce, sensação tátil química de dormência e sabor chocolate) conforme Tabela 4, considerando os termos descritores e referências estabelecidas na Tabela 3. Os 4 atributos foram avaliados em momentos separados.

Os avaliadores selecionados avaliaram as 7 amostras (4g cada) de chocolate amargo elaborados com extratos vegetais, servidas em sequência monádica, embaladas em papel alumínio com etiquetas codificados com números aleatórios de 3 dígitos em blocos completos balanceados.

Para o treinamento, os avaliadores realizaram o teste de TI, onde receberam cada amostra individualmente e a avaliaram por 135 segundos. Ao primeiro sinal dado pelo computador, os avaliadores foram solicitados a colocar a quantidade total da amostra na boca e mastigar a amostra por 15 segundos e em seguida, usando o mouse, iniciar a identificação da intensidade do atributo sensorial específico na escala linear estruturada de zero a dez (0 = nenhum, 5 = moderado, 10 = forte). Após os 15 segundos, ao ouvir o segundo sinal, os avaliadores foram orientados a manter a amostra na boca até o derretimento completo da mesma, enquanto que um terceiro sinal, 120 segundos após o segundo sinal, indicava o fim do teste (Cadena; Bolini, 2011; Palazzo; Bolini, 2009).

Os dados foram coletados durante cada avaliação sensorial, e os seguintes parâmetros foram avaliados: T-inicial (s) = tempo inicial da percepção do estímulo; I-max = intensidade máxima registrada da percepção do estímulo; T-lmax (s) = momento em que a intensidade máxima foi registrada; Área = área da curva tempo-intensidade; T-total (s) = tempo total da percepção do estímulo pelos avaliadores.

Foram realizados dois testes de TI, um para treinar os avaliadores e outro como teste definitivo. O treinamento foi validado com base na capacidade de reprodutibilidade e repetibilidade dos avaliadores do teste de TI em triplicata em dias diferentes. Foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para cada avaliador e parâmetro, e os 23 participantes foram selecionados para participar de acordo com sua capacidade discriminatória ($p \leq 0,30$) e repetibilidade ($p \geq 0,05$).

Em seguida, os 23 avaliadores selecionados realizaram o teste de TI mais uma vez, avaliando 7 amostras (4g) de chocolate amargo elaborados com extratos vegetais, apresentadas em blocos completos balanceados monádicos e servidas embaladas em papel alumínio com etiquetas codificados com números aleatórios de 3 dígitos. O teste foi conduzido em triplicata em dias diferentes. Os resultados do teste TI foram analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA), seguida de um teste de médias de Tukey, através do software Statistical Analysis System (SAS).

Tabela 15 - (Tabela 4 do artigo) Descrição dos atributos e definições de referências utilizadas no treinamento dos avaliadores para o teste tempo-intensidade aplicado em chocolates elaborados com extratos vegetais.

Termo Descritor	Definição	Referência
Gosto amargo	Percepção da intensidade do gosto amargo ao provar a amostra, característico de chocolate amargo ou café sem açúcar	Máximo: Chocolate Lindt® amargo 90% cacau
Gosto doce	Percepção da intensidade do gosto doce que surge na boca ao provar a amostra	Máximo: Chocolate Hershey's® branco
Sensação de dormência	Percepção da sensação tátil química, sentida na boca, característica da substância <i>spilanthol</i> , encontrada na planta de jambu, ao provar a amostra	Máximo: Extrato concentrado de Jambu da empresa Givaudan®
Sabor chocolate	Percepção do sabor característico de um chocolate amargo, sem que o sabor de algum elemento se sobressaia aos demais, ao provar a amostra	Máximo: Chocolate amargo Hershey's® tradicional 73% de cacau

Fonte: Elaborada pelos autores.

Resultados

A Tabela 5 apresenta os resultados das médias das notas dadas pelos assessores para cada termo descritor na Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®) para os chocolates contendo diferentes extratos vegetais.

Na aparência, o brilho apresentou diferença significativa entre as amostras, com pequenas variações, mas o chocolate com extrato de erva-mate (CM) obteve a maior nota (6,39), enquanto que o chocolate CA obteve a menor nota (6,17). A cor marrom foi mais intensa no chocolate com extrato de jambu (6,55), enquanto que os chocolates CG e CM tiveram as menores notas (6,25). A homogeneidade aparente foi significativamente maior no chocolate controle (7,33), enquanto que os outros chocolates com os extratos apresentaram notas menores, mas próximas entre si.

No aroma, o aroma de cacau apresentou diferença significativa apenas no chocolate com jambu (CJ), que obteve a menor nota para este termo descritor (3,32),

o que sugere que o extrato de jambu diminuiu a percepção deste atributo. O aroma de canela foi percebido apenas na amostra de chocolate com o extrato de canela (1,72), o que confirma a presença dos compostos voláteis desse extrato no chocolate. O aroma cítrico foi mais evidente nos chocolates com hibisco (CH) e com jambu (CJ) e os aromas florais e frutados foram mais evidentes no chocolate com extrato de hibisco (CH). Já o aroma herbal foi significativamente mais intenso no chocolate com extrato de jambu (4,69) e erva-mate (1,86), evidenciando os compostos de aroma desses extratos nos chocolates.

Para o sabor, o gosto ácido foi percebido nos chocolates com hibisco (3,22) e jambu (2,99), devido à presença de ácidos orgânicos na matriz vegetal dessas plantas e que foram preservadas nos extratos. O gosto amargo foi mais intenso nos chocolates com extrato de jambu (4,19) e erva-mate (3,83), enquanto que o chocolate com extrato de hibisco apresentou uma menor percepção desse gosto. A percepção do gosto doce foi significativamente menor no chocolate com jambu (1,81), o que indica uma diminuição da doçura pelos compostos do extrato de jambu. O sabor de canela foi percebido apenas no chocolate com o extrato de canela (1,72), o que confirma a presença do extrato e a transferência dos compostos de sabor, para o chocolate. O sabor de chá-mate foi percebido de forma mais intensa apenas no chocolate com erva-mate (1,97). E a intensidade do sabor de chocolate foi reduzido significativamente nos chocolates com hibisco (4,86) e jambu (3,03), o que indica que esses extratos vegetais influenciam negativamente para a percepção desse sabor.

Para a textura, a cremosidade foi mais intensa no chocolate com canela (6,76) e em menor intensidade no chocolate com jambu (6,05), o que indica um possível efeito dos extratos na percepção da cremosidade do chocolate. O derretimento foi menor no chocolate com extrato de jambu (6,25), enquanto que para os outros chocolates o derretimento obteve maiores notas. A dormência que é uma sensação tátil química foi percebida exclusivamente no chocolate com jambu (6,75), o que confirma o efeito das substâncias químicas presentes no extrato de jambu, como o espilantol. O *snap* (quebra do chocolate) foi maior no chocolate com extrato de jambu (6,62), o que sugere uma estrutura mais rígida do chocolate, decorrente das interações dos ingredientes.

De modo geral, o chocolate com extrato de jambu (CJ) se destacou por sua dormência, alta percepção herbal e redução da doçura e do sabor de chocolate. O

chocolate com extrato de canela (CC) teve alta percepção do sabor e aroma de canela, além de manter uma cremosidade. O chocolate com extrato de hibisco (CH) apresentou maior acidez e percepções florais e frutadas de aroma e sabor. O chocolate com extrato de erva-mate (CM) obteve a maior intensidade de sabor de chá-mate e uma leve percepção de amargor. O chocolate com extrato de guaraná (CG) e açaí (CA) não apresentaram variações marcantes nos atributos sensoriais.

A análise dos resultados obtidos a partir da Análise de Componentes Principais (PCA) para as amostras de chocolate amargo com diferentes extratos vegetais revela uma clara distinção entre as amostras, com base em seus atributos sensoriais. A PCA fornece uma visualização bidimensional das inter-relações entre os descritores sensoriais e as amostras, permitindo identificar quais características estão mais associadas a cada tipo de chocolate.

As amostras de chocolate foram diferenciadas pelos descritores sensoriais conforme projetado nos eixos PC1 e PC2, que explicam uma grande parte da variabilidade total (72,53%). Isso indica que os principais atributos sensoriais das amostras foram bem capturados pelos dois primeiros componentes principais. Os descritores sensoriais que mais contribuíram para essa diferenciação incluem aroma de cacau, doçura, amargor, acidez, além de descritores específicos como aroma de canela, aroma herbal e floral, que estão fortemente associados a determinados extratos vegetais.

Amostras como a de hibisco e jambu mostraram fortes correlações com descritores como acidez, aroma floral, e sabor ácido, sendo percebidas como mais "únicas" em relação às outras, que apresentaram perfis mais tradicionais de chocolate amargo. A amostra de açaí foi associada a uma menor percepção de doçura, o que pode ser interpretado como uma vantagem para consumidores que preferem chocolates menos doces, enquanto o chocolate com canela destacou-se por seu perfil sensorial mais equilibrado entre aroma de especiarias e doçura.

Chocolates com erva-mate e jambu mostraram descritores fortemente relacionados com o sabor e aroma herbais, assim como notas mais acentuadas de amargor e sabor de chá-mate, no caso da amostra com erva-mate. Isso indica que os extratos não apenas adicionaram características aromáticas, mas também alteraram as percepções táteis e gustativas, como o preenchimento na boca e cremosidade.

Tabela 16 - (Tabela 5 do artigo) Resultado da ADQ® com as médias das notas dos assessores para cada termo descritor, realizada em chocolates com adição de extratos de açaí (CA), canela (CC), guaraná (CG), hibisco (CH), jambu (CJ) e erva-mate (CM).

Termos Descritores	Chocolates ¹							DMS*
	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM	
Aparência								
Brilho	6,27 ^{ab}	6,17 ^b	6,27 ^{ab}	6,30 ^{ab}	6,26 ^{ab}	6,33 ^{ab}	6,39 ^a	0,20
Cor Marrom	6,44 ^{ab}	6,36 ^{ab}	6,36 ^{ab}	6,25 ^b	6,35 ^{ab}	6,55 ^a	6,25 ^b	0,19
Homogeneidade Aparente	7,33 ^a	7,16 ^b	7,19 ^{ab}	7,14 ^b	7,18 ^b	7,11 ^b	7,13 ^b	0,14
Aroma								
Cacau	5,83 ^a	5,94 ^a	5,89 ^a	5,89 ^a	5,62 ^a	3,32 ^b	5,74 ^a	0,44
Canela	0,12 ^b	0,14 ^b	1,72 ^a	0,14 ^b	0,14 ^b	0,05 ^b	0,26 ^b	0,38
Cítrico	0,21 ^c	0,39 ^c	0,16 ^c	0,16 ^c	1,31 ^b	1,72 ^a	0,32 ^c	0,23
Doce	2,04 ^a	2,04 ^a	1,79 ^a	2,03 ^a	2,09 ^a	1,15 ^b	1,97 ^a	0,43
Floral	0,55 ^{bc}	0,38 ^c	0,41 ^c	0,49 ^{bc}	1,44 ^a	0,77 ^b	0,54 ^{bc}	0,33
Frutado	0,67 ^b	0,67 ^b	0,46 ^{bc}	0,73 ^b	1,65 ^a	0,29 ^c	0,41 ^{bc}	0,35
Herbal	0,81 ^c	0,88 ^c	0,38 ^c	0,59 ^c	0,84 ^c	4,69 ^a	1,86 ^b	0,53
Lácteo	1,13 ^{ab}	1,02 ^{abc}	1,08 ^{ab}	1,24 ^a	0,78 ^c	0,45 ^d	0,94 ^{bc}	0,28
Sabor								
Gosto Ácido	0,37 ^b	0,41 ^b	0,40 ^b	0,36 ^b	3,22 ^a	2,99 ^a	0,65 ^b	0,34
Gosto Amargo	3,37 ^{cd}	3,58 ^{bcd}	3,47 ^{bcd}	3,71 ^{bc}	3,22 ^d	4,19 ^a	3,83 ^{ab}	0,38
Gosto Amargo Residual	2,06 ^{abc}	1,93 ^{bc}	1,77 ^c	2,11 ^{abc}	1,73 ^c	2,37 ^a	2,20 ^{ab}	0,39
Gosto Doce	3,31 ^{ab}	3,39 ^{ab}	3,50 ^a	3,58 ^a	3,09 ^b	1,81 ^c	3,09 ^b	0,35
Canela	0,1 ^b	0,1 ^b	1,72 ^a	0,1 ^b	0,1 ^b	0,05 ^b	0,2 ^b	0,38
Chá Mate	0,1 ^b	0,3 ^b	0,2 ^b	0,3 ^b	0,1 ^b	0,4 ^b	1,97 ^a	0,40
Chocolate	5,29 ^a	5,38 ^a	5,12 ^{ab}	5,39 ^a	4,86 ^b	3,03 ^c	5,29 ^a	0,38
Frutado	0,67 ^b	0,67 ^b	0,46 ^{bc}	0,73 ^b	1,65 ^a	0,29 ^c	0,41 ^{bc}	0,35
Jambu	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^b	6,62 ^a	0,01 ^b	0,19
Lácteo	1,13 ^{ab}	1,02 ^{abc}	1,08 ^{ab}	1,24 ^a	0,78 ^c	0,45 ^d	0,94 ^{bc}	0,28

Textura

Creiosidade	6,66 ^{ab}	6,58 ^{ab}	6,76 ^a	6,43 ^b	6,60 ^{ab}	6,05 ^c	6,60 ^{ab}	0,28
Derretimento	6,78 ^a	6,55 ^b	6,78 ^a	6,67 ^{ab}	6,58 ^{ab}	6,25 ^c	6,64 ^{ab}	0,21
Dormência	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^b	0,01 ^b	6,75 ^a	0,01 ^b	0,28
Homogeneidade	7,46 ^a	7,39 ^a	7,31 ^{ab}	7,44 ^a	7,28 ^{ab}	7,13 ^b	7,32 ^{ab}	0,21
Preenchimento na Boca	6,92 ^a	6,95 ^a	6,96 ^a	6,91 ^a	6,88 ^a	6,80 ^a	6,75 ^a	0,25
<i>Snap</i>	6,20 ^{bc}	6,30 ^{ab}	5,91 ^{cd}	5,46 ^e	5,70 ^{de}	6,62 ^a	5,90 ^{cd}	0,36

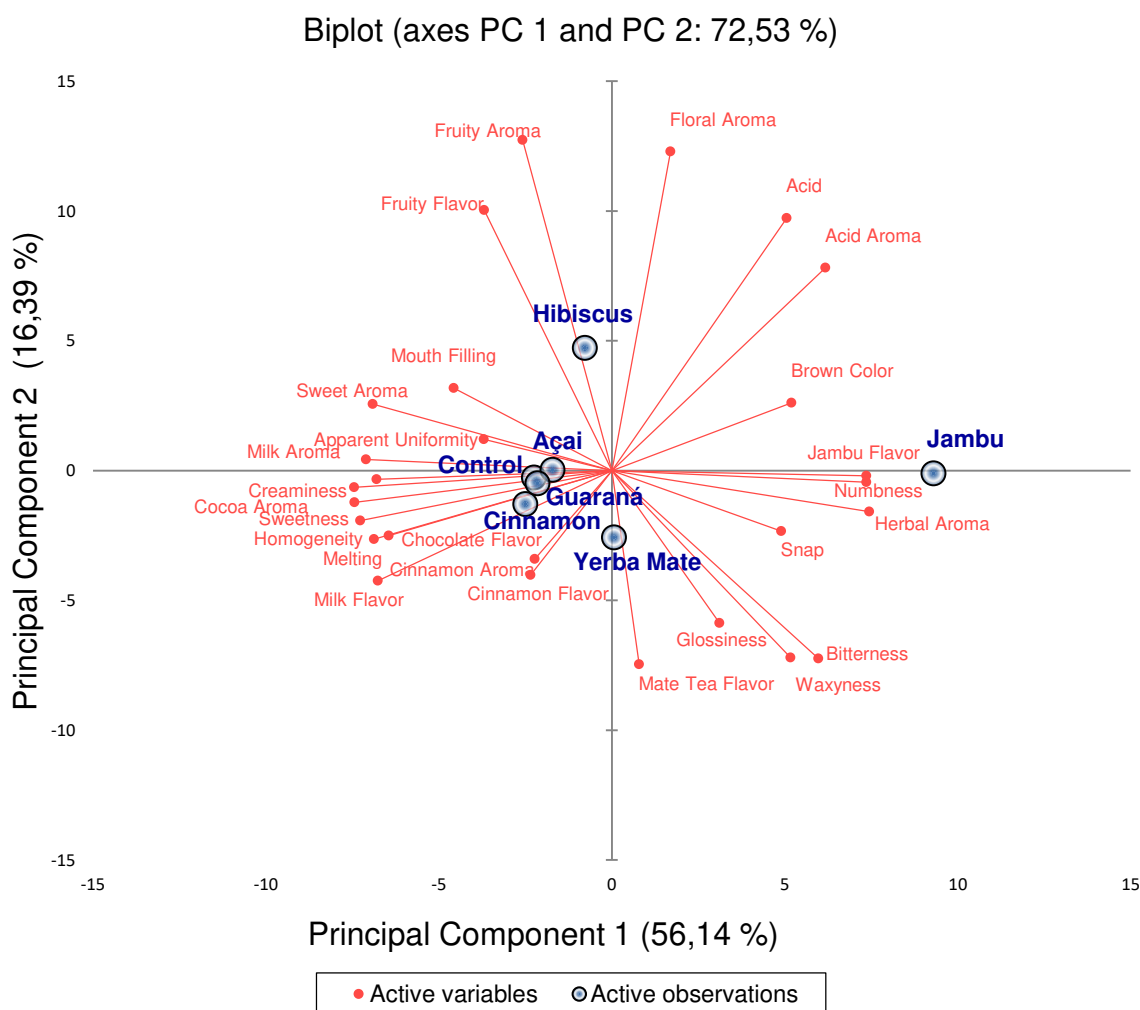
¹ Amostras: CA = chocolate com extrato de açai; CC = chocolate com extrato de canela; CG = chocolate com extrato de guaraná; CH = chocolate com extrato de hibisco; CJ = chocolate com extrato de jambu; CM = chocolate com extrato de erva-mate.

Médias com letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa entre as amostras ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

*Diferença Mínima Significativa.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 13 - (Figura 1 do artigo) Imagem bidimensional da Análise de Componentes Principais (PCA) dos termos descritores das amostras de chocolate amargo elaborados com extratos vegetais.



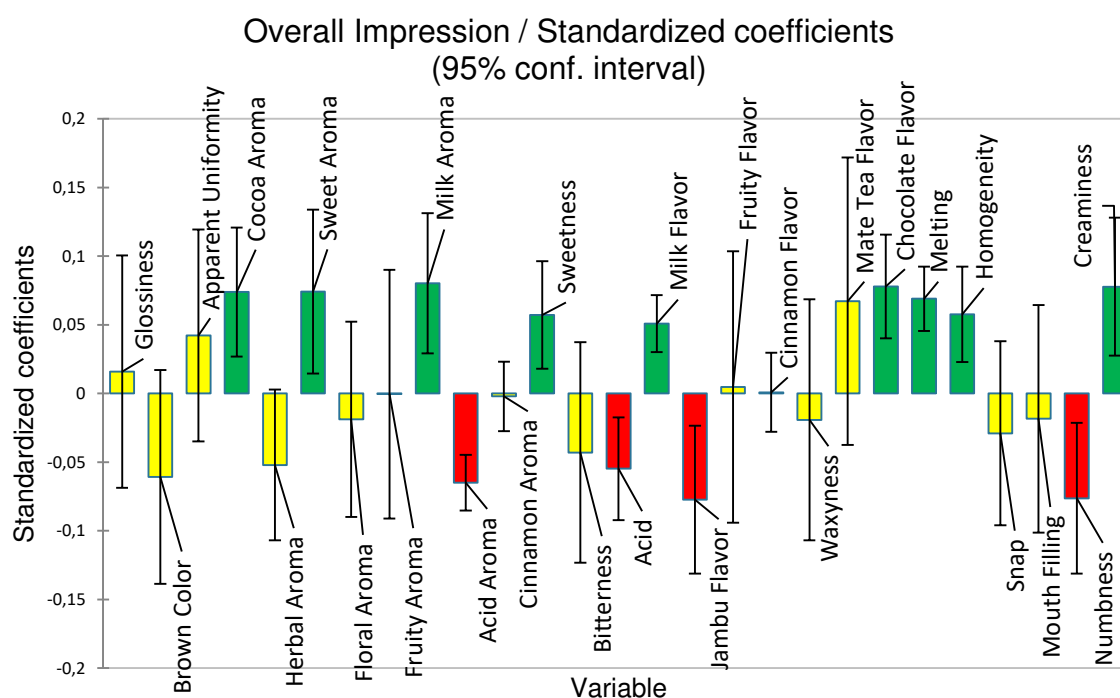
Fonte: Elaborada pelos autores.

A amostra de guaraná se destacou pela maior intensidade de amargor e homogeneidade de derretimento, o que sugere que o extrato de guaraná pode ter contribuído para modificar a textura do chocolate.

Na Figura 2, os atributos em verdes, influenciaram positivamente a aceitação dos chocolates. Já os atributos em vermelho, influenciaram negativamente a aceitação dos chocolates e os atributos em amarelo, não apresentaram influencia na aceitação dos chocolates elaborados com os extratos vegetais.

No gráfico radar de ADQ, o controle apresentou altos valores para os atributos de uniformidade aparente e aroma de cacau, indicando uma aceitação consistente para essas características. Em contrapartida, amostras como a de hibisco apresentaram maior percepção de doçura e acidez, que diferem substancialmente do controle, o que pode polarizar as preferências dos consumidores.

Figura 14 - (Figura 2 do artigo) Direcionadores de preferência das características sensoriais em função da aceitação determinados por *partial least square*.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O chocolate com extrato de canela obteve uma boa pontuação em snap e preenchimento na boca, atributos que são desejáveis em chocolates de alta qualidade. Além disso, o aroma de canela foi um fator de diferenciação importante.

Esses resultados sugerem que o uso de extratos vegetais pode ser uma estratégia eficaz para criar perfis sensoriais diferenciados em chocolates amargos, atendendo a diferentes segmentos de mercado. Enquanto alguns extratos, como o de jambu, adicionam características bastante singulares (dormência e formigamento na boca), outros, como o de canela, melhoram a aceitação por meio da introdução de aromas familiares e agradáveis.

Figura 15 - (Figura 3 do artigo) Relação (influência) dos termos descritores na impressão global das amostras de chocolate amargo elaborados com extratos vegetais.

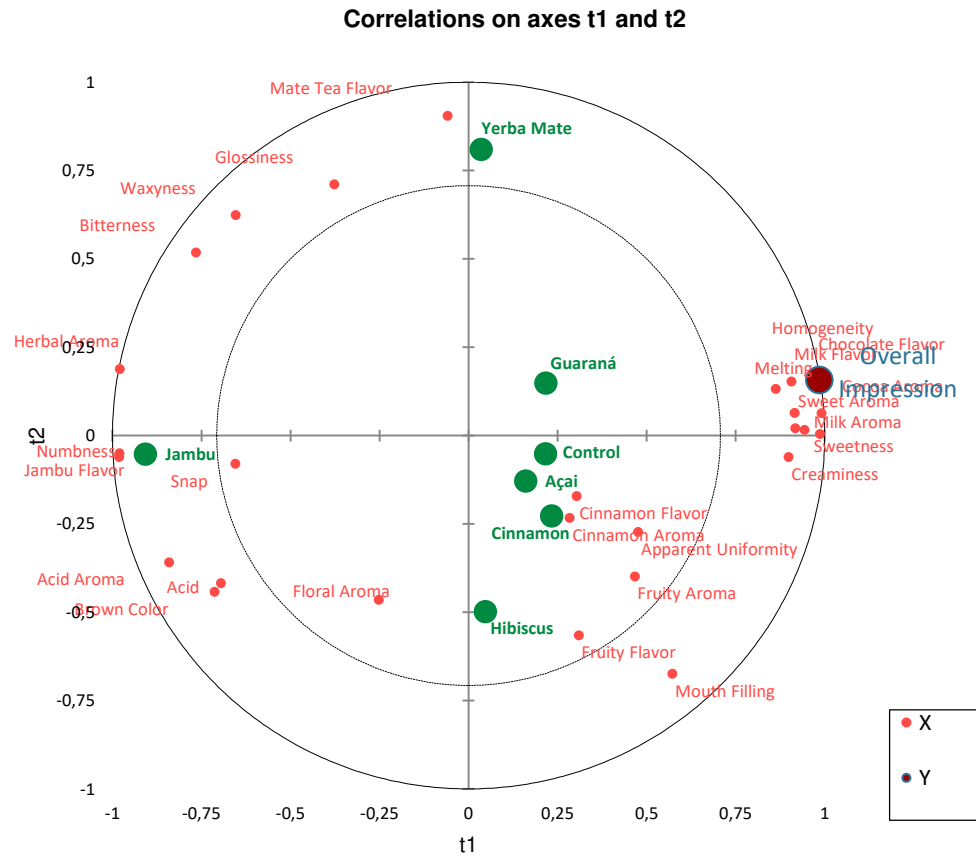


Gráfico 1 – Gráfico radar com os resultados das médias dos assessores da ADQ®.

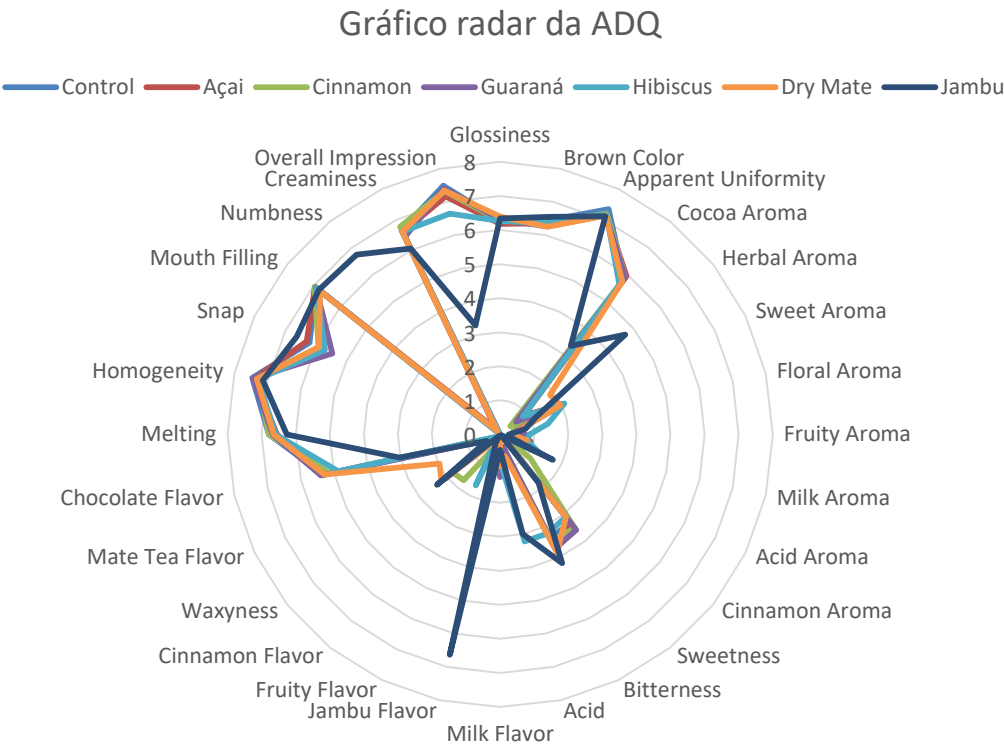


Tabela 17 - (Tabela 6 do artigo) Resultados do teste Tempo-Intensidade realizado nos chocolates com adição de extratos de açaí (CA), canela (CC), guaraná (CG), hibisco (CH), jambu (CJ) e erva-mate (CM).

Atributos	Parâmetros ¹	Amostras ²							MDS*
		Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM	
Gosto Amargo	T-inicial (s)	17,2465 ^a	14,3994 ^{bc}	15,8996 ^{ab}	14,1404 ^{bc}	13,6160 ^c	13,8154 ^{bc}	15,3476 ^{abc}	2,27
	I-max	3,1020 ^d	3,5251 ^c	3,5253 ^c	4,0161 ^b	3,9426 ^b	4,7086 ^a	3,4778 ^{cd}	0,39
	T-lmax (s)	39,616 ^a	34,167 ^{bc}	39,023 ^a	36,578 ^{ab}	31,368 ^c	38,302 ^{ab}	40,613 ^a	4,36
	Área	138,595 ^d	166,313 ^{bc}	158,712 ^{bcd}	198,739 ^a	185,390 ^{ab}	199,442 ^a	154,962 ^{cd}	27,71
	T-total (s)	68,993 ^{ab}	67,042 ^{ab}	62,782 ^b	73,731 ^a	67,849 ^{ab}	68,193 ^{ab}	67,330 ^{ab}	6,91
Gosto Doce	T-inicial (s)	11,460 ^{ab}	9,231 ^b	12,538 ^a	9,566 ^{ab}	11,016 ^{ab}	11,322 ^{ab}	9,823 ^{ab}	3,06
	I-max	4,5485 ^b	5,5598 ^a	5,4555 ^a	5,4669 ^a	5,2072 ^a	3,6215 ^c	5,3455 ^a	0,53
	T-lmax (s)	29,169 ^a	26,716 ^a	26,438 ^a	30,248 ^a	27,768 ^a	25,952 ^a	27,872 ^a	4,98
	Área	180,56 ^{bc}	231,55 ^{ab}	246,10 ^a	239,95 ^a	219,12 ^{ab}	143,76 ^c	244,48 ^a	54,57
	T-total (s)	63,731 ^{ab}	70,162 ^a	69,591 ^a	69,175 ^a	68,366 ^a	55,927 ^b	72,739 ^a	9,40
Dormência	T-inicial (s)	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	13,4566 ^a	0,00 ^b	0,43
	I-max	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	7,56498 ^a	0,00 ^b	0,12
	T-lmax (s)	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	45,705 ^a	0,00 ^b	3,82
	Área	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	620,487 ^a	0,00 ^b	20,96
	T-total (s)	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	0,00 ^b	121,231 ^a	0,00 ^b	4,35
Sabor Chocolate	T-inicial (s)	11,1176 ^a	11,1403 ^a	12,0938 ^a	11,3040 ^a	10,7928 ^a	11,0623 ^a	10,1091 ^a	2,12
	I-max	6,3376 ^b	6,6910 ^{ab}	6,5063 ^{ab}	6,8891 ^a	6,4579 ^{ab}	4,9617 ^c	6,7091 ^{ab}	0,50
	T-lmax (s)	29,887 ^a	29,458 ^a	33,118 ^a	31,109 ^a	33,360 ^a	24,436 ^b	29,524 ^a	4,63
	Área	310,69 ^a	347,08 ^a	324,42 ^a	347,90 ^a	335,45 ^a	196,56 ^b	325,64 ^a	47,68
	T-total (s)	82,386 ^a	81,635 ^a	85,393 ^a	82,725 ^a	85,551 ^a	56,752 ^b	80,178 ^a	7,61

1 Parâmetros: T-inicial (s) = tempo inicial da percepção do estímulo; I-max = intensidade máxima registrada da percepção do estímulo; T-lmax (s) = momento em que a intensidade máxima foi registrada; Área = área da curva tempo-intensidade; T-total (s) = tempo total da percepção do estímulo pelos avaliadores.

2 Amostras: CA = chocolate com extrato de açaí; CC = chocolate com extrato de canela; CG = chocolate com extrato de guaraná; CH = chocolate com extrato de hibisco; CJ = chocolate com extrato de jambu; CM = chocolate com extrato de erva-mate.

Médias com letras iguais na mesma linha indicam que não há diferença significativa entre as amostras ($P > 0,05$) pelo teste de Tukey.

*Minimum Significant Difference.

A amostra CJ (jambu) apresentou os maiores valores de intensidade máxima (I-max), com 4,7086, sugerindo que o jambu conferiu maior amargor comparado às outras amostras. Em contrapartida, a amostra controle e as demais amostras com extratos, como hibisco (CH), mostraram valores significativamente menores, indicando menor percepção de amargor. O tempo total de percepção do gosto amargo (T-total) variou pouco entre as amostras, mas CJ e CH destacaram-se com os maiores valores, sugerindo que esses extratos prolongam o tempo de percepção do amargor.

As amostras CA (açaí), CC (canela), CG (guaraná), CH (hibisco) e CM (erva-mate) apresentaram os maiores valores de intensidade máxima (I-max) para gosto doce, com 5,5598, 5,4555, 5,4669, 5,2072 e 5,3455, respectivamente e não apresentaram diferença estatística entre si, para este atributo. Esses extratos parecem amplificar a doçura do chocolate, enquanto que o jambu (CJ) resultou em uma menor percepção de doçura (3,6215), o que pode estar relacionado à sua composição química e a sensação tátil química de dormência que pode interferir na percepção do gosto doce. O tempo total de percepção (T-total) também foi maior para CA, CC, CG, CH, CM, o que indica uma doçura mais prolongada nestas amostras com os extratos. Isso sugere que a adição dos extratos no chocolate, intensificou a percepção da doçura e deixou esse gosto persistente na cavidade oral por mais tempo.

A amostra de chocolate com extrato de jambu (CJ) foi a única que apresentou percepção de dormência, com valores elevados em todos os parâmetros, especialmente na intensidade máxima (I-max = 7,56498) e tempo total (T-total = 121,231). Isso está de acordo com as propriedades conhecidas do jambu, que contém espilantol, um composto responsável pela sensação tátil química de dormência. Nenhuma outra amostra apresentou essa percepção, confirmando que essa característica é única do jambu entre os extratos analisados.

Em relação ao sabor de chocolate, as amostras apresentaram pequenas variações nos parâmetros, indicando que os extratos adicionados não interferiram de forma significativa nesse sabor. A intensidade máxima (I-max) foi maior nas amostras CA (açaí), CC (canela), CG (guaraná), CH (hibisco) e CM (erva-mate), sugerindo que esses extratos podem potencializar a percepção do sabor de chocolate. O tempo total de percepção (T-total) foi relativamente estável entre as amostras, exceto para a

amostra com extrato de jambu (CJ), que apresentou um valor significativamente menor (56,752), sugerindo que o extrato de jambu mascara ou reduz a percepção do sabor de chocolate ao longo do tempo.

Os resultados mostraram que os diferentes extratos vegetais influenciaram de maneira significativa as percepções sensoriais dos chocolates. O extrato de jambu destacou-se por apresentar uma sensação tátil química de dormência, o que é uma característica única desse extrato, enquanto que os extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco e erva-mate aumentaram a percepção de doçura. Esses extratos também atenuaram tanto o gosto doce quanto a intensidade do sabor de chocolate, sugerindo efeitos diferentes conforme a natureza dos extratos adicionados.

Conclusão

Esse estudo com chocolates elaborados com extratos vegetais, revelou resultados interessantes e valiosos para o desenvolvimento de novos produtos. A adição de extratos vegetais aos chocolates amargos gerou perfis sensoriais diferenciados. Extratos vegetais de jambu, hibisco, canela e erva-mate criaram características únicas, atendendo a diferentes segmentos de consumidores. O extrato de jambu, por exemplo, trouxe a sensação de dormência, destacando-se sensorialmente de outros extratos.

A utilização combinada da ADQ e do T-I permitiu uma avaliação completa das amostras. A ADQ forneceu uma descrição detalhada dos atributos sensoriais, enquanto o T-I capturou a evolução temporal de atributos críticos, como amargor, doçura, sensação de dormência e sabor chocolate, durante o consumo.

A análise de componentes principais (PCA) mostrou quais descritores sensoriais foram responsáveis pela diferenciação entre as amostras. Esse tipo de análise é essencial para compreender como os extratos afetam a percepção global do chocolate.

Embora o uso de extratos vegetais tenha diversificado o perfil sensorial, amostras como as com extratos de hibisco e jambu apresentaram um amargor prolongado, que pode não ser atraente para todos os consumidores. Isso pode limitar a aceitação no mercado. O extrato de jambu, reduziu a percepção de doçura, o que pode comprometer a aceitação entre consumidores que preferem chocolates menos amargos ou com uma doçura mais equilibrada.

Os resultados demonstram que a adição de extratos vegetais aos chocolates amargos tem potencial para criar produtos inovadores, ampliando as possibilidades de mercado. No entanto, ajustes são necessários para otimizar o equilíbrio de sabores e texturas, como por exemplo a quantidade menor de extrato adicionado, como o extrato de jambu, poderia garantir uma melhor aceitação sensorial pelos consumidores de chocolates.

Referências

BHUMIRATANA, N.; ADHIKARI, K.; CHAMBERS I. V. E. Evolution of sensory aroma attributes from coffee beans to brewed coffee. *LWT-Food Science and Technology*, v. 44, n. 10, p. 2185-2192, 2011.

CADENA, R. S.; BOLINI, H. M. A. Time–intensity analysis and acceptance test for traditional and light vanilla ice cream. *Food Research International*, v. 44, n. 3, p. 677-683, 2011.

CIVILLE, G. V.; CARR, B. T.; OSDOBA, K. E. *Sensory evaluation techniques*. CRC press, 2024.

LAWLESS, H. T. et al. Time-intensity methods. *Sensory evaluation of food: principles and practices*, p. 265-300, 1999.

LAWLESS, H. T.; HEYMANN, H. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science & Business Media, 2010.

LOURO, T. et al. How individual variations in the perception of basic tastes and astringency relate with dietary intake and preferences for fruits and vegetables. *Foods*, v. 10, n. 8, p. 1961, 2021.

MASI, C. et al. The impact of individual variations in taste sensitivity on coffee perceptions and preferences. *Physiology & behavior*, v. 138, p. 219-226, 2015.

MEDEIROS, A.; TAVARES, E.; BOLINI, H. M. A. Descriptive sensory profile and consumer study impact of different nutritive and non-nutritive sweeteners on the descriptive, temporal profile, and consumer acceptance in a peach juice matrix. *Foods*, v. 11, n. 2, p. 244, 2022.

MOSKOWITZ, H. R. *Product testing and sensory evaluation of foods: marketing and R&D approaches*. (No Title), 1983.

OLIVER, P. et al. A comparison of Temporal Dominance of Sensation (TDS) and Quantitative Descriptive Analysis (QDA™) to identify flavors in strawberries. *Journal of food science*, v. 83, n. 4, p. 1094-1102, 2018.

PALAZZO, A. B.; BOLINI, H. M. A. Multiple time-intensity analysis and acceptance of raspberry-flavored gelatin. *Journal of Sensory Studies*, v. 24, n. 5, p. 648-663, 2009.

PALAZZO, A. B.; BOLINI, H. M. A. Multiple time-intensity analysis: sweetness, bitterness, chocolate flavor and melting rate of chocolate with sucralose, rebaudioside and neotame. *Journal of sensory studies*, v. 29, n. 1, p. 21-32, 2014.

ROCHA, I. F. O.; BOLINI, H. M. A. Passion fruit juice with different sweeteners: Sensory profile by descriptive analysis and acceptance. *Food science & nutrition*, v. 3, n. 2, p. 129-139, 2015.

ROUKKA, S. et al. The individual differences in the perception of oral chemesthesis are linked to taste sensitivity. *Foods*, v. 10, n. 11, p. 2730, 2021.

SAS Institute Inc., Statistical Analysis System (SAS), 2008.

STONE, H. Example food: What are its sensory properties and why is that important?. *npj Science of Food*, v. 2, n. 1, p. 11, 2018.

STONE, H.; BLEIBAUM, R. N.; THOMAS, H. A. Sensory evaluation practices. Academic press, 2020.

CAPÍTULO 6 – Manuscrito Científico

Manuscrito científico com os resultados das análises físico-químicas, reológicas, microbiológicas, compostos bioativos e potencial antioxidante dos chocolates, intitulado *Caracterização físico-química, microbiológica e potencial antioxidante de chocolate amargo elaborado com diferentes extratos vegetais*, para submissão ao periódico *Journal of Food Composition and Analysis*.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA, MICROBIOLÓGICA E POTENCIAL ANTIOXIDANTE DE CHOCOLATE AMARGO ELABORADO COM DIFERENTES EXTRATOS VEGETAIS

Felipe de Lima Franzen¹, Simone Alves Monteiro da Franca², Ruann Janser Soares de Castro², Mari Silvia Rodrigues de Oliveira³, Valdecir Luccas⁴, Helena Maria André Bolini¹

¹ Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Ciência Sensorial e Estudo de consumidor, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP – Brasil.

² Departamento de Ciência de Alimentos e Nutrição, Laboratório de Bioquímica de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, SP – Brasil.

³ Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Santa Maria, RS – Brasil.

⁴ Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate (Cereal Chocotec), Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL). Campinas, SP – Brasil.

Resumo: Este estudo investigou a caracterização físico-química, microbiológica e o potencial antioxidante de chocolates amargos elaborados com extratos vegetais de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate. Foram elaboradas sete amostras de chocolate, incluindo uma amostra controle sem extrato. As análises incluíam compostos bioativos totais, atividades antioxidantes, propriedades reológicas e padrões microbiológicos. Os resultados mostraram que a adição de extratos vegetais aumentou significativamente os teores de fenólicos totais (TPC) e flavonoides totais (TFC) em comparação ao controle. O chocolate com extrato de hibisco (CH) apresentou o maior TPC (22,46 mg GAE/g), enquanto o extrato de erva-mate (CM) destacou-se com o maior TFC (30,06 mg CE/g). Nas atividades antioxidantes, o chocolate CM obteve os melhores resultados nos ensaios ABTS (75,80 µmol TE/g) e

FRAP (80,33 $\mu\text{mol TE/g FT}$), indicando um potencial antioxidante entre as amostras. O método DPPH revelou que o controle teve a maior atividade antioxidante (71,43 $\mu\text{mol TE/g}$), seguido pelo chocolate com açaí (CA). Em termos reológicos, os chocolates com extratos de guaraná, jambu e hibisco apresentaram maior tensão de ruptura, mostrando uma estrutura mais resistente e um *snap* mais pronunciado, associado à qualidade sensorial. A viscosidade plástica variou, com o chocolate CM mostrando uma menor viscosidade (2,62 Pa.s), o que favorece uma textura mais suave e fácil derretimento. Microbiologicamente, todas as amostras atenderam às exigências da legislação brasileira, com ausência de *Salmonella* em 25 g e contagem de Enterobacteriaceae menor que $1,0 \times 10^1$ UFC/g, garantindo a segurança alimentar dos chocolates. A caracterização centesimal e físico-química mostrou que o chocolate com hibisco e erva-mate tiveram os maiores teores de cinzas, enquanto que o chocolate com guaraná obteve o maior teor de proteínas e de jambu o maior teor de lipídeos. Os chocolates elaborados com os extratos não apresentaram diferença significativa para os resultados do valor calórico. O chocolate com maior acidez foi o elaborado com extrato de hibisco e o mais escuro e maior tamanho de partículas foi o chocolate com extrato de açaí. Conclui-se que a incorporação de extratos vegetais em chocolates amargos pode melhorar seu perfil antioxidante e suas características sensoriais como textura e *snap*, além de manter a segurança microbiológica, tornando-os opções funcionais e naturais para os consumidores.

Palavras-chave: *Theobroma cacao* L.. Plantas medicinais. Compostos bioativos. Propriedades tecnológicas. Microbiologia de alimentos.

Introdução

A incorporação de extratos vegetais na indústria de alimentos tem despertado grande interesse científico devido ao potencial desses ingredientes em enriquecer produtos com propriedades funcionais e promover benefícios à saúde. Em particular, extratos de açaí (*Euterpe oleraceae* Martius.), canela (*Cinnamomum* spp.), guaraná (*Paullinia cupana* Kunth), hibisco (*Hibiscus sabdariffa* DC.), jambu (*Spilanthes oleraceae* L.) e erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) têm sido estudados por seus compostos bioativos, que incluem polifenóis, flavonoides, ácidos fenólicos e alcaloides, reconhecidos por suas ações antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas e cardioprotetoras (Joshi et al., 2020; Roggia et al., 2020; Franzen et al., 2021; Agunbiade et al., 2022; Bruxel et al., 2022; Nazareno et al., 2022; Silveira et al., 2023).

O açaí, amplamente consumido na região amazônica e exportado mundialmente, é uma fonte rica em antocianinas, especialmente a cianidina-3-glicosídeo, que apresenta capacidade antioxidante e potencial de proteção contra o estresse oxidativo relacionado ao envelhecimento celular e a doenças crônicas, como câncer e doenças cardiovasculares. Estudos demonstraram que o açaí possui um dos

mais altos valores de capacidade antioxidante, com valores que chegam a 1027 $\mu\text{mol TE/g}$, superior a muitos outros frutos conhecidos por suas propriedades antioxidantes (Barbosa et al., 2020; Silveira et al., 2023).

A canela, sobretudo as espécies *Cinnamomum zeylanicum* Blume (canela-do-ceilão) e *Cinnamomum cassia* L. (canela-da-china), é reconhecida por seus efeitos hipoglicemiantes, atribuídos ao composto cinamaldeído e seus derivados fenólicos, que auxiliam na modulação da resposta glicêmica. Além disso, seus compostos exibem atividade antimicrobiana e anti-inflamatória, com aplicações em produtos de panificação e sobremesas, atuando como conservante natural e agente aromatizante (Gogoi et al., 2021; Nazareno et al., 2022; Labbaci et al., 2023).

O guaraná, fruto nativo da Amazônia brasileira, é rico em cafeína, catequinas e taninos, que promovem aumento na atividade antioxidante e efeitos estimulantes no sistema nervoso central. Pesquisas indicam que o guaraná pode melhorar o desempenho cognitivo e físico e também atuar na redução do estresse oxidativo em células, com potencial para a redução do risco de doenças neurodegenerativas (Flores et al., 2017; Roggia et al., 2020).

O hibisco contém ácidos orgânicos, como o ácido ascórbico (vitamina C), ácido cítrico, ácido málico, entre outros, além de flavonoides e antocianinas, como a delphinidina-3-sambubiosídeo, que conferem a coloração vermelha característica e propriedades antioxidantes e anti-hipertensivas. Diversos estudos mostram que o consumo de hibisco pode ajudar na redução da pressão arterial em indivíduos hipertensos e promover um efeito cardioprotetor, o que torna seus extratos amplamente utilizados em bebidas funcionais (Ojulari et al., 2019; Agunbiade et al., 2022).

O jambu, conhecido pela presença de espilantol, um composto bioativo com propriedades anestésicas e anti-inflamatórias é valorizado na culinária amazônica. Estudos sugerem que o espilantol pode desempenhar um papel relevante na redução da inflamação e no alívio de dores leves, abrindo possibilidades para seu uso em alimentos voltados para o bem-estar (Joshi et al., 2020; Nascimento et al., 2020).

A erva-mate, consumida principalmente no Brasil, Argentina e Paraguai, destaca-se pelo teor de polifenóis, ácidos orgânicos, além de cafeína, que conferem propriedades antioxidantes e estimulantes. A ingestão de erva-mate tem sido

associada à melhora do perfil lipídico e à redução do risco de doenças cardiovasculares, tornando-se um ingrediente com grande potencial em bebidas funcionais e alimentos, com justificativa de promover benefícios para saúde (Bruxel et al., 2022; Alves; Scheer, 2024).

A aplicação de extratos vegetais em chocolate é uma área de pesquisa crescente na ciência dos alimentos, impulsionada pelo interesse em melhorar o valor nutricional e funcional desse produto altamente popular. O chocolate amargo, é rico em compostos fenólicos e flavonoides e pode se tornar um alimento ainda mais saudável quando combinado com extratos vegetais. Os extratos adicionam compostos bioativos que potencializam os efeitos antioxidantes, anti-inflamatórios, entre outros, tornando o chocolate uma fonte de benefícios à saúde (Poliński et al., 2021; Abedini et al., 2023).

O cacau (*Theobroma cacao* L.), principal ingrediente do chocolate, é naturalmente rico em flavonoides, especialmente epicatequinas, catequinas e procianidinas, que desempenham importantes funções antioxidantes e têm sido associado à redução do risco de doenças cardiovasculares, hipertensão e até de certos tipos de câncer. No entanto, a adição de extratos vegetais pode potencializar as propriedades antioxidantes do chocolate e fornecer uma fonte adicional de compostos bioativos específicos com benefícios complementares para a saúde (Araujo et al., 2016; Loffredo et al., 2017; Loffredo et al., 2018).

Os extratos vegetais podem contribuir significativamente para melhorar os benefícios do consumo do chocolate, ao mesmo tempo em que mantêm ou melhora seu perfil sensorial. Além disso, o uso de extratos vegetais como ingredientes em chocolates atende à demanda crescente por produtos com propriedades funcionais e apelo natural, tornando-se uma alternativa promissora para consumidores em busca de alimentos que promovam a saúde de maneira prática e prazerosa (Poliński et al., 2021; Abedini et al., 2023).

Com isso, o objetivo do estudo foi elaborar chocolates amargos com adição de extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate, analisar suas características reológicas, microbiológicas e caracterizar sua composição proximal e potencial antioxidante.

Material e Métodos

Obtenção das matérias-primas

Os extratos vegetais foram doados pela empresa Givaudan® (CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil) e estão descritos na Tabela 1. Os ingredientes para a elaboração dos chocolates, líquido de cacau natural NA700 (lote 0019609681, Cargill Inc, Brasil), manteiga de cacau desodorizada (lote 0021428436, Cargill Inc, Brasil) e lecitina de soja (lote 0018175203, Cargill Inc, Brasil) foram doados pela empresa Cargill Inc, Brasil; o açúcar cristal refinado (sacarose, lote 150721) foi doado pela empresa Açúcareira Boa Vista, Limeira, SP, Brasil; o leite em pó integral (lote 2118B41) e o leite em pó desnatado (lote 2141B46) foram doados pela empresa Piracanjuba®, Bela Vista de Goiás, Goiás, Brasil). Todos os ingredientes foram armazenados em local apropriado, protegidos da luz e de umidade, até o momento do uso.

Tabela 18 - (Tabela 1 do artigo) Extratos vegetais utilizados na pesquisa.

Nome científico	Nome popular	Código	Descrição do produto
<i>Euterpe oleraceae</i> Martius.	Açaí	100343	Polpa Desidratada de Açaí Min. 0,3% Polifenóis Totais calculados como ácido gálico. Lote: 110918.00652
<i>Cinnamomum zeylanicum</i> Blume	Canela	200064	Canela Extrato Seco. Lote: 251018.00885
<i>Paullinia cupana</i> Kunth	Guaraná	100350	Guaraná Extrato Seco Orgânico 9-11% Metilxantinas Totais calculadas como cafeína. Lote: 160119.01153
<i>Hibiscus sabdariffa</i> DC.	Hibiscus	100101	Chá Hibiscus Desidratado NFCl: BF7E415D-7171-4FF8-BD2E-D8B58599A2E5 Lote: 020119.01090
<i>Spilanthes oleraceae</i> L.	Jambu	100390	Jambu Extrato Concentrado Mín. 10% Espilantol Lote 050618.00247
<i>Ilex paraguariensis</i> A.St.-Hil.	Erva-mate	100383	Mate Extrato Seco Orgânico 1,8 – 2,7% Metilxantinas Totais calculadas como cafeína. Lote: 080618.00277

Fonte: Givaudan® (CentroFlora Nutra, Botucatu, SP, Brasil).

Elaboração dos chocolates

Os chocolates foram produzidos nas dependências do Centro de Tecnologia de Cereais e Chocolate (Cereal Chocotec), no Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL), na cidade de Campinas, no estado de São Paulo no Brasil. Esse local permitiu a produção em escala piloto dos chocolates. Foram produzidas um total de sete amostras de chocolate amargo, sendo seis amostras adicionadas de extratos

vegetais (Tabela 1) e uma amostra controle sem adição de extrato vegetal. As formulações foram definidas de acordo com Franzen et al., (2025) e de acordo com a legislação brasileira, Resolução RDC nº 723, de 1 de julho de 2022.

Para o desenvolvimento dos chocolates, foram realizadas bateladas de 5 kg de amostra para a realização de todas as análises. Para essa pesquisa, foram produzidas seis diferentes formulações de chocolate contendo os extratos vegetais, mais a formulação base como controle, descritos na Tabela 2.

Tabela 19 - (Tabela 2 do artigo) Porcentagem dos ingredientes da formulação dos chocolates com adição dos diferentes extratos vegetais.

Ingredientes (%)	Amostras						
	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM
Massa de cacau	35	35	35	35	35	35	35
Manteiga de cacau	15	15	15	15	15	15	15
Açúcar	33,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5
Leite em pó integral	12	12	12	12	12	12	12
Leite em pó desnatado	4	4	4	4	4	4	4
Lecitina de soja	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
*Extrato vegetal	0	1	1	1	1	1	1

Fonte: Formulação criada por Franzen et al., (2025).

*extratos de Açaí, Canela, Guaraná, Hibisco, Jambu e Erva-mate. CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; CM: chocolate com extrato de erva-mate; e Controle: formulação base sem extrato.

Caracterização proximal, físico-química e reológica dos chocolates

Para a determinação da composição proximal dos chocolates como umidade, cinzas, proteína, lipídeos, fibra bruta, carboidratos solúveis e valor calórico, as análises foram realizadas no laboratório de físico-química de alimentos do Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, no Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). A umidade foi determinada pelo método gravimétrico, onde uma amostra é aquecida em estufa a 105°C até peso constante. A diferença de peso antes e após a secagem corresponde à quantidade de água na amostra (AOAC, 2023). Para a determinação de cinzas, foi realizado o método de incineração que consiste em queimar a amostra em mufla a aproximadamente 550°C até que todos os materiais orgânicos sejam eliminados, restando apenas os minerais (AOAC 923.03, 2023). A proteína foi determinada pelo

método de Kjeldahl, para determinar o teor de nitrogênio total da amostra, que é então convertido em proteína usando um fator de conversão de 6,25 (AOAC 978.04, 2023). Os lipídeos foram determinados pela extração por Soxhlet, no qual a amostra foi submetida à extração com solvente orgânico n-hexano (AOAC 920.39, 2023). A fibra bruta foi determinada pelo procedimento Ankom (Ankom Technology Corp., Fairport, NY) as extrações foram realizadas usando sacos de filtro e o equipamento Ankom²⁰⁰ Fiber Analyzer seguindo o método da AOAC 962.09 (2023). Os carboidratos solúveis foram determinados por diferença, subtraindo a soma de proteínas, lipídeos, umidade, cinzas e fibra bruta, do total (100%). O valor calórico foi calculado usando fatores de Atwater (4 kcal.g⁻¹ para proteínas, 9 kcal.g⁻¹ para lipídeos e 4 kcal.g⁻¹ para carboidratos).

Para a caracterização físico-química, foram realizadas análises de pH, acidez titulável, realizadas na UFSM, cor e tamanho máximo de partículas, realizadas no ITAL. Para a determinação do pH dos chocolates, foram feitas medições direta utilizando pHmetro Digimed DM-22, na qual uma solução da amostra diluída em água destilada 1:10 (p/v) foi preparada para análise (AOAC 981.12, 2023). A determinação da acidez titulável por volumetria potenciométrica (% ácido) foi determinada por titulação da amostra com uma solução padrão de hidróxido de sódio (NaOH). A quantidade de NaOH usada para neutralizar a amostra é convertida para ácido predominante na amostra (AOAC 942.15, 2023). Para determinar os valores de cor, foi utilizado um colorímetro Konica Minolta Chroma Meter CR-410 (illuminant D65), calibrado de acordo com o sistema de coordenadas de cor CIE (Commission Internationale de l'Eclairage). O valor do L* representa a luminosidade, o valor do a* representa cor vermelho-verde e o valor de b* representa cor amarelo-azul. Os parâmetros c* (chroma) e h° (ângulo de tonalidade) são calculados a partir de a* e b*. A análise de tamanho máximo de partículas (µm) foi realizada segundo método adaptado por Luccas (2001), onde quatro porções de amostras foram retiradas do moinho de esferas, de diferentes regiões e dispersas em óleo mineral, na proporção de 2:1, em peso. Para a medição foi utilizado um micrômetro digital marca Mitutoyo®, com escala de 0-25mm, calibrado a cada alíquota medida.

Para a reologia dos chocolates elaborados, foram realizadas análises de tensão de ruptura (*snap*), viscosidade plástica e limite de escoamento, todas realizadas no ITAL. A análise de textura ou *snap* foi realizada pelo texturômetro TA-

XT2i®. Para a determinação da viscosidade plástica e do limite de escoamento de Casson dos chocolates, foi utilizado um reômetro digital, marca Brookfield, modelo RVDIII *plus*. O equipamento dispunha de um adaptador para armazenamento de amostras, e o chocolate, já na forma líquida, foi acondicionado em seu interior. A temperatura do produto no início e durante a realização da análise foi mantida a 40°C, por meio de um banho termostático, marca Brookfield, modelo TC500. O *spindle* utilizado para as medidas foi o S15, com torque máximo de 90%. Os valores obtidos foram calculados através de regressão linear, através do programa de rotação estabelecido por Vissoto et al. (1999) e as análises foram realizadas em triplicata (Beckett, 2017). Os resultados foram analisados estatisticamente, por ANOVA, seguida de teste de Tukey.

Padrões microbiológicos dos chocolates

Para as análises microbiológicas foi utilizada a Instrução Normativa nº 161 de 2022, que estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos, nos termos da Resolução de Diretoria Colegiada - RDC nº 724, de 1º de julho de 2022. Segundo a IN nº 161, os padrões microbiológicos de chocolates devem apresentar ausência de pesquisa de *Salmonella*/25g e contagem total de Enterobacteriaceae/g (UFC/g) $< 10^2$. As análises foram realizadas no laboratório de microbiologia de alimentos do Departamento de Tecnologia e Ciência dos Alimentos, no Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Determinação de compostos bioativos

As análises de compostos bioativos e da avaliação do potencial antioxidante, foram realizadas no laboratório de bioquímica de alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). As amostras foram desengorduradas previamente pelo método Bligh and Dyer (1959), para a realização dos compostos bioativos e avaliação do potencial antioxidante.

Compostos fenólicos totais (TPC)

A determinação de compostos fenólicos totais seguiu a metodologia de Pereira et al., (2018). A análise consistiu da adição de 25 µL da amostra ou padrão

(ácido gálico), 25 µL da solução de Folin-Ciocalteu (50% v/v) e 200 µL da solução de carbonato de sódio (5% m/v), nesta ordem, em microplaca de 96 poços. Em seguida, as placas foram incubadas por 20 minutos a 40°C em leitor de microplacas (MultiSkan Go, ThermoScientific) com posterior leitura de absorbância a 760 nm. O teor de compostos fenólicos totais foi expresso em mg de ácido gálico equivalentes por grama de amostra (mg AGE /g).

Teor de flavonoides totais (TFC)

A determinação de flavonoides totais seguiu a metodologia descrita por Zhishen; Mengcheng; Jianming (1999) com adaptação para condução dos ensaios em microplaca. A análise consistiu da adição de alíquotas de 50 µL da amostra e/ou padrão analítico (catequina e/ou quercetina) e 20 µL de solução de nitrito de sódio (NaNO₂) (5% m/v) nesta ordem, na microplaca de 96 poços. Após 5 minutos, 20 µL de cloreto de alumínio (AlCl₃) (10% m/v) foram adicionados. Após 6 minutos, 100 µL de hidróxido de sódio (NaOH) (4% m/v) e 100 µL de água destilada foram adicionados à mistura reacional. As absorbâncias foram coletadas em espectrofotômetro de microplacas (MultiSkan Go, ThermoScientific). A quantificação do teor de flavonoides foi realizada a partir de curva de calibração de catequina (leitura de absorbâncias a 510 nm) e os resultados expressos em mg de catequina equivalente por grama de amostra (mg CE/g) ou a partir de curva de calibração de quercetina (leitura de absorbâncias a 425 nm) e os resultados expressos em mg de quercetina equivalentes por grama de amostra (mg QE/g).

Avaliação do potencial antioxidante

Método ABTS

A atividade antioxidante analisada pelo método ABTS foi realizada em microplacas seguindo a metodologia de Re et al., (1999). A solução reacional do radical ABTS foi preparada no momento da análise a partir da diluição da solução concentrada (preparada com pelo menos 12 horas de antecedência), corrigindo a absorbância a 734 nm para $0,7 \pm 0,02$. Assim, 20 µL de amostra ou solução padrão (Trolox 50µM - 400µM) e 220 µL do radical ABTS foram adicionados na microplaca. Após repouso por 6 minutos na ausência de luz, a absorbância (a 734 nm da reação) foi medida em espectrofotômetro de microplacas (MultiSkan Go, ThermoScientific). A

atividade antioxidante foi expressa μmol de equivalentes Trolox por grama de amostra ($\mu\text{mol TE/g}$).

Método DPPH

A atividade antioxidante mensurada pelo método DPPH foi realizada seguindo a metodologia de Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995). Em cada poço da microplaca foram adicionados 66 μL de amostra ou solução padrão (Trolox 10 μM - 140 μM) e 134 μL de solução DPPH (150 $\mu\text{mol/L}$). Após 45 minutos de incubação na ausência de luz, a leitura de absorbância foi realizada a 517 nm. A atividade antioxidante foi expressa em μmol de equivalentes Trolox por grama de amostra ($\mu\text{mol TE/g}$).

Método FRAP

A atividade antioxidante medida pelo método de FRAP foi realizada seguindo a metodologia de Benzie e Strain (1999). Em cada poço da microplaca foram adicionados 25 μL da amostra ou solução padrão (Trolox 20 μM - 240 μM) e 175 μL de reagente FRAP. O reagente FRAP foi preparado na hora na análise e consistiu da mistura da solução de tampão acetato (0,3 mol/L pH 3,6); TPTZ (0,01 mol/L) e cloreto férrico (0,02 mol/L) na proporção (10:1:1, v/v/v). A mistura reacional foi incubada a 37 °C por 30 minutos com posterior coleta das leituras de absorbâncias a 595 nm. A atividade antioxidante foi expressa em μmol de equivalentes Trolox por grama de amostra ($\mu\text{mol TE/g}$).

Análise estatística

As análises estatísticas dos resultados foram realizadas por meio do *software* IBM SPSS Statistics para Windows, versão 22.0 (IBM Corp., Armonk, NY, EUA), através do teste de *Tukey*. Os valores foram expressos como média aritmética e considerados estatisticamente diferentes em $p\text{-valor} \leq 0,05$.

Resultados e Discussão

Os resultados da composição proximal e das análises físico-químicas estão apresentados na Tabela 3. Os chocolates elaborados com os diferentes extratos vegetais apresentaram diferenças estatísticas significativas para algumas análises.

A composição proximal variou entre as amostras, no conteúdo de cinzas, proteínas e lipídeos, indicando que os extratos influenciaram nesses constituintes, o que pode interferir na textura, maciez e no derretimento do chocolate. O teor de umidade, fibra bruta, carboidratos solúveis e valor calórico não variaram estatisticamente entre as amostras.

Os chocolates com extrato de hibisco (CH) e extrato de erva-mate (CM) apresentaram os maiores teores de cinzas (2,22%), o que indica que os extratos utilizados desses vegetais possuem maior teor de cinzas em relação aos outros extratos. Os chocolates com extrato de guaraná (CG), erva-mate (CM) e hibisco (CH), apresentaram os maiores teores de proteína, 9,39%, 9,29% e 9,12%, respectivamente.

Para o teor de lipídeos, o chocolate com extrato de jambu (CJ) apresentou a maior quantidade desse nutriente, chegando a 41%. No entanto, o CJ não diferiu estatisticamente dos chocolates com açaí (CA), guaraná (CG), hibisco (CH) e erva-mate (CM). A quantidade de gordura no chocolate influencia a cremosidade, derretimento e maciez do produto (Beckett, 2019).

A adição de extratos ricos em ácidos graxos insaturados, pode impactar positivamente na textura e o teor lipídico, aumentando a suavidade do produto (Poliński et al., 2021). A quantidade de fibra bruta nos chocolates não variou estatisticamente. As fibras vegetais podem atuar como agentes de retenção de água e variação de textura, promovendo sensação de saciedade e estabilidade estrutural (Medina-Mendoza et al., 2021).

O teor de carboidratos solúveis e o valor calórico dos chocolates não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Isso demonstra que as adições dos extratos vegetais aos chocolates não proporcionaram aumentos significativos de carboidratos e de calorias nos produtos.

O chocolate CH apresentou um pH mais ácido (5,57) e os chocolates CG e CJ apresentaram pH's menos ácidos (6,13 e 6,12, respectivamente), mais próximos da neutralidade. Consequentemente, o CH apresentou a maior acidez titulável (12,52%) e os chocolates CG e CA apresentaram a menor acidez titulável, 7,93% e 7,94%, respectivamente.

As amostras com pH mais baixo e acidez mais elevada sugerem extratos vegetais que contribuem com ácidos orgânicos, influenciando diretamente na

percepção sensorial do produto, apresentando um gosto mais ácido. Chocolates com valores de pH mais baixos e acidez mais elevada, normalmente possuem perfis sensoriais mais complexos, com notas de frutas ácidas. Estudos indicam que extratos ácidos, como os de frutas vermelhas ou hibisco, intensificam o sabor e a aceitação do consumidor ao acrescentarem frescor ao produto (Kaur et al., 2021; Muhammad; Fibri; Prakash, 2022; Poliński et al., 2022).

Os parâmetros de cor de chocolate, podem mostrar pequenas variações na aparência visual, enquanto que o tamanho máximo de partícula reflete uma uniformidade na moagem, no processo de refino e potencialmente na percepção de textura e derretimento na boca (Beckett, 2019).

O parâmetro L^* , que representa o brilho do chocolate, variou entre as amostras. O chocolate CM apresentou maior valor nesse parâmetro (32,52), mas não apresentou diferença estatística dos chocolates CJ e CC. O brilho do chocolate é importante pois pode impactar na aceitação em relação a aparência do produto e na escolha pelo consumidor. Os parâmetros de cor a^* e b^* variaram estatisticamente entre as amostras, demonstrando que os extratos podem influenciar na cor dos chocolates.

A cor do chocolate evoca diferentes sentimentos e memórias em cada pessoa. O marrom escuro, por exemplo, pode ser associado à sofisticação, riqueza e experiência, enquanto tons mais claros podem remeter à leveza e suavidade. A experiência anterior do consumidor com diferentes tipos de chocolate influencia a expectativa do consumidor em relação à cor. Um consumidor acostumado com chocolates amargos pode ter uma percepção diferente de um chocolate ao leite. A cor é um dos principais indicadores de qualidade percebida pelo consumidor. Um chocolate com uma cor brilhante e uniforme tende a ser associado a um produto de alta qualidade (Heymann; Lawless, 2013; Baptista et al., 2021).

A cor de um produto é um fator essencial para a aceitação do consumidor, o que torna sua análise e controle, aspectos fundamentais na indústria. A falta de uniformidade entre os produtos pode demandar um maior empenho para a padronização, o que, em algumas situações, pode não representar adequadamente a amostra analisada (Heymann; Lawless, 2013).

A cor é uma percepção visual resultante da reflexão da luz por um objeto. No sistema psicométrico CIELAB, ela é representada em um espaço tridimensional

por coordenadas retangulares: luminosidade (L), que varia do branco (+) ao preto (-); cromaticidade (a), que vai do vermelho (+) ao verde (-); e cromaticidade (b), que varia do amarelo (+) ao azul (-). Além dessas, o CIELAB também utiliza coordenadas cilíndricas, como o croma (C), que expressa a saturação da cor, e a tonalidade cromática (h°), que define o matiz percebido (Fairchild, 2013).

Em chocolates, a cor é um dos principais indicadores de qualidade, que influencia diretamente a aceitação ou rejeição do produto pelo consumidor. Esse atributo está relacionado, principalmente, à composição das matérias-primas, como a proporção de cacau e manteiga de cacau utilizadas, além dos outros ingredientes. Além disso, a cor serve como referência para avaliar as condições de armazenamento e validade do produto, que auxilia na percepção do consumidor em relação a outros atributos sensoriais, como textura, aroma e sabor (Heymann; Lawless, 2013; Baptista et al., 2021).

A variedade do cacau pode impactar a tonalidade do chocolate, assim como a sua origem e as condições de cultivo afetam a cor, pois influenciam a composição dos polifenóis e pigmentos naturais. A fermentação e secagem também afetam a cor final, já que um processo inadequado pode levar ao escurecimento ou ao desenvolvimento de tons inadequados (Efraim; Alves; Jardim, 2011; Albertini et al., 2015; Cruz et al., 2015).

A torrefação influencia na cor do chocolate, a intensidade, o tempo e as temperaturas como as mais altas, podem resultar em tons mais escuros devido às reações de *Maillard* e à caramelização dos açúcares. A proporção de liquor, manteiga de cacau e açúcar influenciam diretamente na cor. Chocolates mais escuros possuem maior teor de cacau e menos açúcar, os chocolates ao leite têm um tom mais claro devido à adição de leite em pó e os chocolates brancos não contêm liquor de cacau, apenas manteiga de cacau (Ferreira et al., 2021; Burgon et al., 2023).

Além desses fatores citados anteriormente, o armazenamento e a estabilidade também afetam a cor do chocolate. A exposição à luz, oxigênio e umidade pode levar à degradação dos pigmentos naturais. A temperatura de armazenamento inadequada pode causar *fat bloom* (cristalização da gordura na superfície do chocolate) ou *sugar bloom* (recristalização do açúcar na superfície do chocolate), resultando em manchas esbranquiçadas. Esses fatores, combinados, determinam a

cor final do chocolate, tornando-a um indicador de sua qualidade e processamento (Leite et al., 2013; Neto, 2021).

A percepção do sabor está fortemente ligada à visão. Cores mais escuras geralmente são associadas a sabores mais intensos e amargos, enquanto chocolates mais claros podem ser percebidos como mais doces e suaves. Chocolates mais escuros geralmente contêm maior teor de sólidos de cacau, o que naturalmente intensifica o sabor amargo e reduz a doçura percebida (Baptista et al., 2023).

A cor também pode estar relacionada ao tamanho de partículas dos ingredientes. Chocolates com partículas menores podem apresentar maior dispersão da luz, parecendo mais claros, enquanto texturas mais ásperas, com partículas maiores, podem intensificar a percepção de amargor (PIQUERAS-FISZMAN; SPENCE, 2012).

O tamanho máximo de partícula variou de 21 a 24 μm , mostrando que a moagem no processo de refino foi uniforme entre as amostras e garantindo uma textura homogênea, o que melhora a sensação na boca e a aparência. Estudos mostram que o tamanho de partícula é importante para a percepção de textura na boca e o brilho do chocolate. Um tamanho entre 20-25 μm é ideal para chocolates, proporcionando uma textura suave e sem arenosidade (Feichtinger; Scholten; Sala, 2020; Deou et al., 2022).

Tabela 20 - (Tabela 3 do artigo) Resultados das análises de composição proximal, pH, acidez titulável, cor e tamanho máximo de partículas das amostras de chocolate amargo elaborado com extratos vegetais.

Constituintes	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM
Umidade ¹	1,03±0,044 ^{a*}	1,05±0,046 ^a	0,99±0,057 ^a	1,00±0,026 ^a	1,03±0,025 ^a	1,02±0,044 ^a	0,99±0,039 ^a
Cinzas ¹	2,09±0,040 ^b	2,18±0,043 ^{ab}	2,14±0,051 ^{ab}	2,18±0,061 ^{ab}	2,22±0,031 ^a	2,13±0,048 ^{ab}	2,22±0,013 ^a
Proteína ¹	8,69±0,434 ^b	8,83±0,179 ^b	8,85±0,202 ^b	9,39±0,163 ^a	9,12±0,380 ^a	9,05±0,230 ^{ab}	9,29±0,078 ^a
Lipídeos ¹	37,51±0,602 ^b	40,20±1,892 ^a	38,73±1,810 ^b	40,82±0,880 ^a	40,16±0,704 ^a	41,01±0,675 ^a	40,60±1,582 ^a
Fibra Bruta ¹	0,82±0,015 ^a	1,08±0,165 ^a	1,24±0,424 ^a	1,00±0,339 ^a	0,72±0,235 ^a	0,97±0,164 ^a	1,31±0,261 ^a
Carboidratos Solúveis ¹	45,95±0,505 ^a	48,23±1,231 ^a	46,37±1,771 ^a	46,05±1,089 ^a	49,39±1,250 ^a	45,97±1,776 ^a	46,35±0,944 ^a
Valor Calórico ²	571,64±1,912 ^a	584,87±9,424 ^a	576,24±9,660 ^a	586,47±5,612 ^a	583,09±3,742 ^a	588,66±2,008 ^a	586,43±7,499 ^a
pH	6,03±0,020 ^c	6,10±0,015 ^{ab}	6,07±0,006 ^b	6,13±0,006 ^a	5,57±0,010 ^e	6,12±0,010 ^a	5,93±0,025 ^d
Acidez Titulável (% ácido)	9,30±0,057 ^c	7,94±0,105 ^f	8,49±0,006 ^e	7,93±0,006 ^f	12,52±0,060 ^a	8,70±0,051 ^d	10,16±0,100 ^b
L*	31,45±0,133 ^{cd}	31,09±0,050 ^d	32,32±0,366 ^a	31,78±0,383 ^{bc}	31,35±0,332 ^{cd}	32,17±0,267 ^{ab}	32,52±0,489 ^a
a*	6,63±0,075 ^{bc}	6,73±0,064 ^{ab}	6,55±0,024 ^{cd}	6,79±0,039 ^a	6,56±0,066 ^{cd}	6,06±0,149 ^e	6,50±0,084 ^d
b*	3,93±0,114 ^{bc}	4,00±0,102 ^b	3,92±0,042 ^{bc}	4,20±0,026 ^a	3,61±0,015 ^d	3,92±0,237 ^{bc}	3,81±0,011 ^c
c*	7,71±0,122 ^{bc}	7,83±0,104 ^{ab}	7,63±0,010 ^{cd}	7,99±0,019 ^a	7,49±0,065 ^d	7,22±0,250 ^e	7,54±0,072 ^d
h°	30,61±0,452 ^c	30,73±0,454 ^c	30,91±0,356 ^c	31,76±0,307 ^b	28,78±0,176 ^d	32,90±0,961 ^a	30,39±0,360 ^c
Tamanho máximo de partículas (µm)	23±1,0 ^{ab}	24±1,0 ^a	21±1,0 ^b	22±1,0 ^{ab}	22±1,0 ^{ab}	23±1,0 ^{ab}	22±1,0 ^{ab}

*Dados expressos como média ± desvio padrão. Médias dentro da mesma linha com letras diferentes são significativamente diferentes no nível de 5%, pelo teste de Tukey (valor de p < 0,05). 1 = (g/100 g). 2 = (kcal/100 g).

L*: 0 = preto e 100 = branco; a*: +a = vermelho e -a = verde; b*: +b = amarelo e -b = azul; c*: croma; h°: ângulo de matiz.

CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; CM: chocolate com extrato de erva-mate; e Controle: formulação base sem extrato.

Fonte: elaborada pelos autores.

O processo de refino é uma etapa de produção de chocolates que tem a função de reduzir o tamanho das partículas dos ingredientes presentes na formulação. Essa etapa é importante no processo pois, com a redução de tamanho das partículas, se tem o aumento da superfície de contato, influenciando diretamente no desenvolvimento de uma textura suave no chocolate (Beckett, 2017; Stroppa, 2018).

Partículas presentes no chocolate com tamanhos superiores a 30 μm (0,03 mm) podem ser perceptíveis ao paladar e conferir um aspecto arenoso ou granuloso ao produto. Para chocolates contendo leite em pó, quanto menor o tamanho das partículas, melhor é a maciez do produto, enquanto que para chocolates com teores maiores de cacau, quanto menor o tamanho das partículas, mais intenso fica o sabor do cacau (Beckett, 2017; Feichtinger; Scholten; Sala, 2020).

Além disso, o processo de refino está intimamente ligado à viscosidade e ao teor de gordura da formulação do chocolate. À medida que as partículas se reduzem em tamanho, é necessário que a fase de gordura, geralmente composta pela manteiga de cacau, envolva essas partículas. Com a diminuição do tamanho, aumenta-se a necessidade de gordura para cobrir adequadamente as partículas, pois, caso contrário, a viscosidade do chocolate aumenta, dificultando seu derretimento e escoamento (Efraim et al., 2013; Beckett, 2017; Stroppa, 2018).

Além da relação direta entre o tamanho das partículas e a quantidade de gordura, a uniformidade na distribuição desses tamanhos também é fundamental para a qualidade do produto final. A qualidade do chocolate é impactada não só pelo refino, mas também pelas etapas de mistura e conchagem que, em conjunto, são determinantes para o produto final (Luccas, 2001; Efraim et al., 2013; Beckett, 2017).

A Tabela 4, mostra os resultados dos testes reológicos de tensão de ruptura (*snap*) expressos em kgf.cm^{-2} , viscosidade plástica (η_{Ca}) expressos em Pa.s e limite de escoamento de Casson (τ_{Ca}) expressos em Pa, aplicados nas amostras de chocolates.

Para a tensão de ruptura, os valores variam de 9,44 kgf.cm^{-2} a 10,79 kgf.cm^{-2} , para o chocolate controle e com hibisco (CH), respectivamente. Os chocolates CH, CJ e CG apresentaram tensões de ruptura significativamente mais altas em comparação com os demais chocolates, indicando uma estrutura mais resistente. Isso sugere que os extratos de hibisco, jambu e guaraná, quando adicionados em chocolates, podem contribuir para um aumento na coesão da matriz do chocolate.

Tabela 21 - (Tabela 4 do artigo) Resultados da avaliação das propriedades reológicas das amostras de chocolate amargo elaborado com extratos vegetais.

Propriedades	Amostras						
	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM
Tensão de ruptura (kgf.cm ⁻²)	9,44 ± 0,680 ^b	9,81 ± 0,310 ^b	10,10 ± 0,020 ^b	10,58 ± 0,460 ^a	10,79 ± 0,670 ^a	10,66 ± 0,540 ^a	9,47 ± 0,650 ^b
Viscosidade plástica η_{Ca} (Pa.s)	3,04 ± 0,061 ^c	2,67 ± 0,100 ^d	3,62 ± 0,098 ^b	3,49 ± 0,036 ^b	2,40 ± 0,045 ^e	3,93 ± 0,046 ^a	2,62 ± 0,101 ^d
Limite de escoamento de Casson τ_{Ca} (Pa)	9,80 ± 0,386 ^{cd}	14,78 ± 0,241 ^b	8,62 ± 0,325 ^e	4,13 ± 0,158 ^f	15,89 ± 0,374 ^a	8,83 ± 0,618 ^{de}	9,92 ± 0,055 ^c

Controle: formulação base sem extrato; CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; e CM: chocolate com extrato de erva-mate.

Fonte: elaborada pelos autores.

Os efeitos observados podem ser explicados pela interação entre os compostos fenólicos e as proteínas do leite durante a produção do chocolate. Esses compostos influenciam tanto as propriedades hidrofílicas quanto as hidrofóbicas, além de alterarem o estado de agregação das proteínas, impactando sua solubilidade. Os compostos fenólicos podem tanto aumentar quanto diminuir a solubilidade das proteínas, ao aumentar sua hidrofiliabilidade ou acelerar a reticulação e a agregação, respectivamente. O grau de agregação das proteínas é determinado pela estrutura dos compostos fenólicos (Beckett, 2017; Stroppa, 2018).

A tensão de ruptura ou força de ruptura é uma medida importante na análise da textura do chocolate e está diretamente relacionada à qualidade sensorial, incluindo o *snap* (som seco e corte limpo ao quebrar uma barra de chocolate), um atributo desejado em chocolates de qualidade superior (Samaras et al., 2024).

O *snap* do chocolate é um indicativo de que o chocolate apresenta uma boa estrutura cristalina e bom teor de sólidos, especialmente a manteiga de cacau, que influencia na formação de cristais de gordura bem estruturados e estáveis. Chocolates com alta tensão de ruptura apresentam maior resistência mecânica, indicando uma estrutura cristalina rígida e bem organizada, geralmente com cristais de manteiga de cacau do tipo βV , que são os mais estáveis e desejáveis. Isso resulta em *snap* mais limpo e audível, um atributo frequentemente associado a chocolates de alta qualidade (Beckett, 2017; Samaras et al., 2024).

Os chocolates com baixa tensão de ruptura possuem uma estrutura mais frágil, que tende a quebrar com menos resistência e não apresenta o mesmo nível de *snap*. Isso pode ocorrer devido à falta de temperagem adequada, formação de cristais de gordura instáveis, ou maior presença de sólidos lácteos e outros ingredientes que interferem na estrutura cristalina da manteiga de cacau (Pradhan, 2021).

A tensão de ruptura serve como um indicativo da cristalização da manteiga de cacau, importante para a textura, o brilho e o comportamento do chocolate em diferentes temperaturas. Um controle adequado na tensão de ruptura garante consistência na produção e auxilia no desenvolvimento de produtos com as propriedades sensoriais desejadas, como crocância e um bom derretimento, que estão intimamente relacionadas com a percepção sensorial e a qualidade do produto percebida pelo consumidor (Alvarez et al., 2021; Samaras et al., 2024).

Os resultados da viscosidade plástica variaram de 2,40 Pa.s (CH) a 3,93 Pa.s (CJ), indicando resistência ao escoamento sob tensão aplicada. A variação da viscosidade sugere que os extratos afetam o fluxo do chocolate. O chocolate CJ, que apresentou maior viscosidade, mostrou uma resistência maior ao escoamento, isso pode ser devido as interações mais fortes entre os componentes sólidos do extrato e os constituintes da fase dispersa como partículas de cacau e açúcar. Isto pode levar a uma textura mais densa, percebida sensorialmente por um chocolate com maior cremosidade. Por outro lado, os chocolates CH, CM e CA, apresentaram uma viscosidade mais baixa indicando um escoamento mais fácil, o que pode favorecer a percepção de leveza no consumo.

A viscosidade plástica é uma propriedade tecnológica importante para a produção e qualidade sensorial do chocolate, pois influencia diretamente tanto os aspectos tecnológicos como processamento e moldagem, quanto a percepção sensorial e textura. No chocolate, a viscosidade plástica representa a resistência ao escoamento quando se aplica uma tensão. Ela é especialmente importante na fase de produção, pois determina a facilidade com que o chocolate se movimenta nas etapas de mistura, conchagem, temperagem e moldagem. Uma viscosidade ideal é essencial para garantir que o chocolate possa fluir adequadamente, preencher moldes de maneira uniforme e envolver partículas sólidas como açúcar e cacau (Luccas, 2001; Varzakas, 2015).

Chocolates com alta viscosidade plástica são mais espessos e menos fluidos, o que pode dificultar o processo de moldagem e revestimento de produtos como bombons ou barras com recheio. Isso exige mais energia para o escoamento e maior controle de temperatura para manter a fluidez necessária. Além disso, altas viscosidades podem levar a inconsistências na estrutura, como aprisionamento de bolhas de ar (Agibert; Lannes, 2018).

Por outro lado, uma baixa viscosidade plástica facilita o escoamento, permitindo uma distribuição mais uniforme e preenchimento completo dos moldes, o que é desejável em chocolates moldados. No entanto, uma viscosidade muito baixa pode dificultar a incorporação de sólidos de maneira uniforme, levando a separação de fases ou irregularidade no produto final (Varzakas, 2015).

Chocolates com alta viscosidade plástica geralmente são mais espessos ao paladar, o que pode resultar em uma percepção mais encorpada e uma experiência sensorial mais prolongada. Já os chocolates com baixa viscosidade plástica tendem a ser mais leves e a derreter mais rapidamente na boca, o que pode ser desejável para chocolates ao leite ou chocolates finos que priorizam uma textura macia e derretimento rápido (Beckett, 2017; Samaras et al., 2024).

A viscosidade também está relacionada à distribuição de partículas e à estrutura cristalina da manteiga de cacau. Controlar a viscosidade permite uma cristalização uniforme e um produto final com melhor estabilidade física e sensorial (Beckett, 2017; Ibadullah et al., 2024).

Os resultados do limite de escoamento de Casson, variaram de 4,13 Pa para o chocolate CG a 15,89 Pa para o chocolate CH. Esse limite indica uma tensão necessária para iniciar o escoamento. Todas as amostras de chocolates apresentaram diferenças significativas entre si para essa característica, mostrando que a adição dos extratos ao chocolate influenciou o limite de escoamento do chocolate.

Essa influência pode ser devido à presença de compostos bioativos de maior massa molecular ou maior capacidade de ligação intermolecular, que aumentam a rigidez inicial antes do chocolate fluir. A redução do limite de escoamento, como por exemplo, nas amostras CG, CC e CJ, indica uma estrutura menos densa, possivelmente promovida pelos compostos que atuam como plastificantes naturais, reduzindo a coesão inicial.

O limite de escoamento de Casson é um parâmetro tecnológico importante para o chocolate, representando a tensão mínima necessária para iniciar o fluxo da massa do produto. Esse valor indica a quantidade de energia necessária para que o chocolate comece a fluir, o que afeta tanto o processamento quanto a qualidade sensorial do produto final (Luccas, 2001; Varzakas, 2015; Agibert; Lannes, 2018).

Chocolates com alto limite de escoamento de Casson exigem uma tensão maior para iniciar o fluxo, o que pode dificultar o manuseio em processos como conchagem, temperagem, moldagem e revestimento. Esse fator aumenta a energia necessária no processo de produção e pode resultar em maior viscosidade aparente, dificultando o preenchimento de moldes de maneira uniforme e aumentando a chance de inclusões de ar indesejadas (Beckett, 2017; Samaras et al., 2024).

Por outro lado, chocolates com baixo limite de escoamento de Casson começam a fluir com menos tensão, o que facilita o escoamento em processos de moldagem e cobertura. Esse comportamento reduz o esforço necessário durante a produção e favorece a uniformidade, especialmente em revestimentos finos e chocolates moldados (Beckett, 2017; Ibadullah et al., 2024).

Um limite de escoamento adequado é crucial para manter a estabilidade da suspensão de partículas sólidas como cacau e açúcar, dentro da fase de gordura. Valores muito altos podem comprometer a estabilidade, resultando em segregação de partículas durante o armazenamento, enquanto valores muito baixos podem indicar um chocolate excessivamente fluido, o que também pode comprometer a uniformidade (Ibadullah et al., 2024).

Chocolates com alto limite de escoamento tendem a ser mais densos e firmes, criando uma percepção mais encorpada e uma experiência sensorial mais intensa. Esses chocolates podem oferecer uma quebra (*snap*) mais forte, valorizado em chocolates de alta qualidade. Já chocolates com baixo limite de escoamento de Casson apresentam uma textura mais suave e fluida, o que facilita o derretimento e é agradável ao paladar, especialmente em chocolates ao leite. Um limite de escoamento mais baixo proporciona uma sensação de leveza e rapidez no derretimento, o que é desejável em chocolates finos (Beckett, 2017; Ibadullah et al., 2024; Samaras et al., 2024).

A reologia está relacionada ao fluxo e à deformação de materiais, especialmente ao seu comportamento na zona de transição entre sólidos e líquidos,

estabelecendo a relação entre a tensão aplicada a um material e a deformação resultante. As propriedades reológicas de um material são determinadas por parâmetros específicos, como tensão e taxa de deformação, além de fatores como temperatura (Malkin; Derkach; Kulichikhin, 2023).

Ao conhecer a magnitude desses parâmetros em processos industriais é possível estudar a viscosidade e as propriedades elásticas em ambiente laboratorial por meio de instrumentos reológicos, como viscosímetros, texturômetros ou reômetros (Leite et al., 2013; Malkin; Derkach; Kulichikhin, 2023).

Em chocolates, suas características reológicas, propriedades físicas e percepção sensorial são atributos essenciais fortemente influenciados pelo processamento, pela distribuição do tamanho das partículas e pela composição dos ingredientes, fatores que impactam diretamente a qualidade e a estabilidade do produto (Glicerina et al., 2013; Toker et al., 2023; Konar et al., 2024).

O chocolate derretido apresenta um comportamento não newtoniano, no qual o limite de escoamento e a viscosidade plástica são influenciadas por diversos fatores, como a presença de emulsificantes, o tamanho das partículas, o processamento do chocolate, a presença de equivalentes de manteiga de cacau ou substitutos de manteiga de cacau, a temperatura, quantidade de açúcar e de gordura, entre outros (Strähl, 2014; Glicerina; Romani, 2017; Pombal et al., 2024).

O chocolate fundido apresenta um limite de escoamento, que corresponde à tensão mínima necessária para que a deformação do produto não seja reversível. Seu comportamento pode ser descrito por modelos matemáticos, como o de Casson (Fernandes; Müller; Sandoval, 2013; Glicerina; Romani, 2017).

A Tabela 5 mostra os resultados dos padrões microbiológicos dos chocolates elaborados com os extratos vegetais.

A Instrução Normativa (IN) nº 161 de 2022, publicada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), estabelece padrões microbiológicos para diferentes alimentos, incluindo o chocolate, visando garantir a segurança alimentar. Para o chocolate, os padrões microbiológicos descritos na IN incluem pesquisa de *Salmonella*/25g e contagem total de Enterobacteriaceae/g (UFC/g) (Brasil, 2022).

A legislação brasileira exige que o patógeno *Salmonella* esteja ausente em 25 g de chocolate. A presença desse patógeno é considerada inaceitável e indica uma falha nos controles de segurança, uma vez que a ingestão de *Salmonella* pode levar

a doenças graves, como salmonelose. Portanto, o resultado "ausente" para *Salmonella* no chocolate atende aos requisitos estabelecidos pela IN nº 161 de 2022 e demonstra que o produto está livre desse patógeno e dentro dos padrões brasileiros de segurança (Brasil, 2022; Marchioretto et al., 2024).

Tabela 22 - (Tabela 5 do artigo) Resultados dos testes microbiológicos dos chocolates elaborados.

Análises	Chocolates						
	Controle	CA	CC	CG	CH	CJ	CM
Pesquisa de <i>Salmonella</i>/25g	Aus*	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
Contagem total de Enterobacteriaceae/g (UFC/g)	< 1,0**	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0

*Aus = Ausente para pesquisa de *Salmonella*.

** < 1,0 = < 1,0 x 10¹ UFC/g de amostra.

Controle: formulação base sem extrato; CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; e CM: chocolate com extrato de erva-mate.

Fonte: elaborada pelos autores.

Para o grupo Enterobacteriaceae, a legislação define limites variáveis dependendo do tipo de alimento, mas geralmente valores baixos indicam boas práticas de higiene durante o processamento. No caso do chocolate, um valor de contagem menor que 1,0 x 10¹ UFC/g indica que o produto apresenta baixos níveis de microrganismos indicadores de contaminação fecal ou ambiental, apontando para a qualidade higiênico-sanitária. Esse resultado atende às normas da IN nº 161, pois demonstra o controle adequado de possíveis contaminações e de condições de fabricação (Dias et al., 2018; Brasil, 2022).

Esses resultados mostram que os chocolates elaborados estão em conformidade com os padrões microbiológicos exigidos pela legislação brasileira, sendo considerado seguro para consumo, uma vez que cumpre as especificações de ausência de *Salmonella* e apresenta baixos níveis de Enterobacteriaceae. Isso reflete em boas práticas de fabricação, controle de qualidade e segurança no processo produtivo (SANTOS et al., 2023).

Os resultados da determinação de compostos bioativos e da avaliação do potencial antioxidantes dos chocolates elaborados, estão apresentados na Tabela 6 e Tabela 7, respectivamente.

Tabela 23 - (Tabela 6 do artigo) Resultados da determinação de compostos bioativos TPC e TFC dos chocolates elaborados com extratos vegetais.

Chocolates	TPC (mg GAE g ⁻¹)	TFC (mg CE g ⁻¹)
Controle	17,35 ± 0,42 ^d	15,73 ± 0,56 ^d
CA	21,87 ± 0,97 ^{ab}	20,01 ± 0,98 ^b
CC	20,27 ± 0,75 ^{abc}	18,69 ± 0,54 ^c
CG	19,49 ± 0,84 ^{bcd}	17,86 ± 0,58 ^c
CH	22,46 ± 0,68 ^a	20,88 ± 2,99 ^c
CJ	20,88 ± 1,01 ^{ab}	19,17 ± 0,68 ^{cd}
CM	17,72 ± 0,56 ^{cd}	20,64 ± 0,30 ^a

Controle: formulação base sem extrato; CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; e CM: chocolate com extrato de erva-mate.

Fonte: elaborada pelos autores.

Os resultados da determinação de compostos bioativos nos chocolates elaborados com extratos vegetais mostrou variações significativas nos teores de fenóis totais (TPC) e flavonoides totais (TFC), refletindo o impacto dos diferentes extratos vegetais adicionados às formulações.

O chocolate com extrato de hibisco (CH) apresentou o maior teor de TPC (22,46 mg GAE/g), seguido pelo chocolate com extrato de açaí (CA) (21,87 mg GAE/g). Esses valores indicam que os extratos de hibisco e açaí contribuem significativamente para o aumento de compostos fenólicos no chocolate, provavelmente devido à presença de ácidos fenólicos, flavonoides e outros compostos antioxidantes característicos dessas plantas.

O chocolate controle (sem extrato) registrou o menor valor de TPC (17,35 mg GAE/g), indicando que a adição de qualquer um dos extratos vegetais aumenta o teor de compostos fenólicos, melhorando o perfil antioxidante do chocolate.

Para o resultado de TFC, o chocolate com extrato de hibisco apresentou o maior TFC (20,88 mg CE/g), o que sugere que o extrato de hibisco tenha grandes quantidades de flavonoides, como catequinas e epicatequinas, que são conhecidos por seu potencial antioxidante. Esse teor superior de flavonoides indica que o extrato de hibisco pode ser altamente benéfico para enriquecer chocolates com compostos antioxidantes.

Comparativamente, o chocolate controle exibiu um dos menores valores de TFC (15,73 mg CE/g), reforçando o efeito dos extratos vegetais na elevação dos flavonoides totais.

Os chocolates com extratos de hibisco (CH), açaí (CA), canela (CC) e jambu (CJ) mostraram um aumento significativos em TPC, o que pode aumentar o potencial antioxidante e os benefícios à saúde, tornando-os opções mais atraentes do ponto de vista funcional, para os consumidores.

O chocolate com extrato de hibisco se destaca no TFC, sugerindo que esse extrato pode ser especialmente eficaz em formulações que visam a presença elevada de flavonoides.

Os resultados mostram que a incorporação de extratos vegetais em chocolates pode melhorar suas propriedades bioativas e potencial antioxidante, aumentando os benefícios para a saúde do consumidor, que vão além dos nutrientes tradicionais presentes no chocolate (Poliński et al., 2021; Abedini et al., 2023).

A adição de extratos vegetais nos chocolates não só elevou os teores de compostos bioativos (TPC e TFC), mas também agrega valor nutricional e potencial antioxidante, o que pode atrair consumidores interessados em alimentos funcionais e saudáveis (Araujo et al., 2016; Loffredo et al., 2017; Loffredo et al., 2018).

A Tabela 7 mostra os resultados de potenciais antioxidantes dos chocolates com os extratos vegetais, medida pelos métodos DPPH, ABTS e FRAP. Observa-se que houve variações no potencial antioxidante em diferentes diluições. Essas análises são fundamentais para avaliar o quanto cada extrato vegetal contribuiu com compostos bioativos de capacidade antioxidante.

O teste DPPH mede a capacidade de eliminação de radicais livres. O chocolate controle apresentou o maior valor para esse ensaio, com 71,43 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra e 3286,74 $\mu\text{mol TE/g FT (GAE)}$, superando os chocolates elaborados com os estratos vegetais.

O chocolate com extrato de erva-mate (CM) apresentou o menor valor para este ensaio com 18,65 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra e 1054,98 $\mu\text{mol TE/g FT (GAE)}$, enquanto que o chocolate com extrato de açaí (CA) teve o maior potencial antioxidante entre os chocolates com os extratos, com 54,12 $\mu\text{mol TE/g}$ e 3131,11 $\mu\text{mol TE/g FT}$, indicando que o extrato de açaí mantém uma atividade antioxidante elevada.

O método ABTS é sensível a uma ampla gama de antioxidantes, especialmente aqueles solúveis em água. O extrato de erva-mate (CM) se destaca com os maiores valores de ABTS (75,80 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra e 4350,53 $\mu\text{mol TE/g FT}$), mostrando que esse extrato é eficiente contra radicais livres, por esse método.

Os chocolates com extratos de açaí (CA), canela (CC), guaraná (CG), hibisco (CH) e jambu (CJ) exibiram valores próximos entre si, com o controle apresentando o menor valor neste método. Se observa que o extrato de erva-mate tem a capacidade antioxidante mais elevada, analisada por esse método, em comparação com o método anterior de DPPH.

Tabela 24 - (Tabela 7 do artigo) Avaliação do potencial antioxidante dos chocolates elaborados com extratos vegetais, medidos pelas atividades de eliminação de radicais ABTS e DPPH e FRAP.

Amostras	Diluição: 1/5		Diluição: 1/2		Diluição: 1/10	
	DPPH ($\mu\text{mol TE/g}$ amostra)	DPPH ($\mu\text{mol TE/g FT}$ (GAE))	ABTS ($\mu\text{mol TE/g}$ amostra)	ABTS ($\mu\text{mol TE/g FT}$ (GAE))	FRAP ($\mu\text{mol TE/g}$ amostra)	FRAP ($\mu\text{mol TE/g FT}$ (GAE))
Controle	71,43 $\pm$ 2,46 ^a	3286,74 $\pm$ 341,43	54,64 $\pm$ 1,37 ^c	2493,28 $\pm$ 85,80	59,16 $\pm$ 1,19 ^{bc}	2919,85 $\pm$ 195,62
CA	54,12 $\pm$ 0,14 ^b	3131,11 $\pm$ 77,52	63,29 $\pm$ 1,18 ^b	3648,42 $\pm$ 66,13	61,28 $\pm$ 4,03 ^b	4210,43 $\pm$ 165,98
CC	45,91 $\pm$ 0,55 ^c	2381,78 $\pm$ 31,79	63,71 $\pm$ 0,18 ^b	3260,06 $\pm$ 69,91	61,17 $\pm$ 2,44 ^b	3021,95 $\pm$ 194,30
CG	43,12 $\pm$ 0,35 ^c	2248,14 $\pm$ 121,24	61,23 $\pm$ 0,97 ^{bc}	3088,24 $\pm$ 103,31	65,54 $\pm$ 0,31 ^b	3366,97 $\pm$ 160,50
CH	37,97 $\pm$ 0,94 ^d	1691,54 $\pm$ 73,06	62,95 $\pm$ 1,18 ^b	3744,93 $\pm$ 72,46	61,95 $\pm$ 3,96 ^b	3393,21 $\pm$ 198,62
CJ	43,21 $\pm$ 1,46 ^c	2684,47 $\pm$ 165,54	61,00 $\pm$ 2,21 ^{bc}	3423,04 $\pm$ 115,69	52,83 $\pm$ 1,03 ^c	2535,90 $\pm$ 167,20
CM	18,65 $\pm$ 1,49 ^e	1054,98 $\pm$ 115,20	75,80 $\pm$ 1,71 ^a	4350,53 $\pm$ 154,68	80,33 $\pm$ 1,60 ^a	4688,68 $\pm$ 212,93

Controle: formulação base sem extrato; CA: chocolate com extrato de açaí; CC: chocolate com extrato de canela; CG: chocolate com extrato de guaraná; CH: chocolate com extrato de hibisco; CJ: chocolate com extrato de jambu; e CM: chocolate com extrato de erva-mate.

Fonte: elaborada pelos autores.

O método FRAP mede a capacidade redutora dos compostos antioxidantes. O chocolate com extrato de erva-mate (CM) apresentou a maior capacidade redutora, com valores de 80,33 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra e 4688,68 $\mu\text{mol TE/g FT}$. Isso pode indicar que o extrato de erva-mate contém compostos altamente eficazes em reduzir íons, o que é relevante para inibir a oxidação de lipídios e outros processos oxidativos em alimentos.

O chocolate controle teve valores intermediários, enquanto o chocolate com extrato de jambu (CJ) apresentou o menor valor com 52,83 $\mu\text{mol TE/g}$ de amostra e 2535,90 $\mu\text{mol TE/g FT}$, que sugere sua atividade redutora menor em comparação com os outros chocolates com os extratos.

Estes resultados dos potenciais antioxidantes dos chocolates, mostram que os extratos vegetais adicionados ao chocolate afetaram significativamente o potencial antioxidante, variando conforme o tipo de extrato e o método de avaliação. O extrato de erva-mate (CM) destaca-se nos ensaios de ABTS e FRAP, sugerindo um perfil antioxidante intenso nesses métodos, que pode ser vantajoso para chocolates destinados a consumidores que buscam benefícios como ação antioxidante.

Os métodos DPPH, ABTS e FRAP fornecem informações complementares sobre o potencial antioxidante, e esses resultados sugerem que o uso de extratos vegetais pode ser uma estratégia eficiente para melhorar as propriedades funcionais do chocolate, agregando benefícios à saúde e diferenciando o produto no mercado (Barišić et al., 2021).

Conclusão

Os resultados deste estudo com usos de diferentes extratos vegetais em chocolates, mostrou que a adição de extratos de açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate interferiu significativamente tanto no potencial antioxidante quanto nas características físico-químicas e reológicas do chocolate.

Os chocolates com extratos apresentaram elevação nos teores de fenólicos totais (TPC) e flavonoides totais (TFC), com destaque para os chocolates com extrato de hibisco e com extrato de erva-mate. O hibisco apresentou o maior TPC, mostrando uma alta concentração de compostos fenólicos. Já o chocolate com extrato de erva-mate destacou-se com o maior TFC, devido à presença de flavonoides como catequinas, que são conhecidos por suas propriedades antioxidantes.

Nos ensaios de potencial antioxidante (DPPH, ABTS e FRAP), o chocolate com extrato de erva-mate (CM) teve o melhor resultado nos métodos ABTS e FRAP, evidenciando seu alto potencial antioxidante, especialmente na neutralização de radicais livres. Este efeito antioxidante diversificado entre os métodos (DPPH, ABTS e FRAP) sugere que a combinação de extratos vegetais pode contribuir para uma ação antioxidante mais ampla e eficaz.

As análises reológicas mostraram que os extratos vegetais afetaram a viscosidade plástica e a tensão de ruptura, que pode influenciar na textura e na percepção sensorial. Os chocolates com extratos de guaraná, jambu e hibisco, que apresentaram uma alta tensão de ruptura, se mostraram com uma estrutura mais firme e um *snap* pronunciado, associado à qualidade do chocolate. Além disso, os chocolates com extratos de erva-mate, açaí e hibisco mostraram uma viscosidade plástica reduzida, facilitando o derretimento e promovendo uma textura mais suave ao consumo.

Todos os chocolates elaborados atenderam aos padrões microbiológicos exigidos pela legislação brasileira (IN nº 161 de 2022), apresentando ausência de *Salmonella* em 25 g e baixos níveis de Enterobacteriaceae, o que garante que os produtos foram elaborados seguindo as boas práticas de fabricação.

Em relação a caracterização centesimal e físico-químicas, os resultados mostraram que os extratos modificaram a composição centesimal e as características físico-químicas dos chocolates quando comparados com o controle. Mas essas modificações não interferiram na qualidade tecnológica do produto.

Com esses resultados, a adição de extratos vegetais em chocolates é uma estratégia promissora para enriquecer o produto com compostos antioxidantes, ao mesmo tempo em que pode melhorar características sensoriais como a textura e o *snap*.

Este tema não só adiciona valor funcional ao chocolate, mas também responde à demanda crescente por produtos alimentares com benefícios à saúde, como alimentos ricos em antioxidantes provenientes de fontes naturais.

Referências

- ABEDINI, A. et al. Fortification of chocolates with high-value-added plant-based substances: Recent trends, current challenges, and future prospects. Food Science & Nutrition, v. 11, n. 7, p. 3686-3705, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3387>
- AGIBERT, S. A. C.; LANNES, S. C. S. Dark chocolate with a high oleic peanut oil microcapsule content. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 98, n. 15, p. 5591-5597, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9102>
- AGUNBIADÉ HO, FAGBEMI TN, ADERINOLA TA. Composition and antioxidant properties of beverages from graded mixture of green/roasted coffee and Hibiscus sabdariffa calyx flours. Appl. Food Res. 2022; 100163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100163>

ALBERTINI, Barbara et al. Effect of fermentation and drying on cocoa polyphenols. *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 63, n. 45, p. 9948-9953, 2015.

ALVAREZ, M. D. et al. Development of chocolates with improved lipid profile by replacing cocoa butter with an oleogel. *Gels*, v. 7, n. 4, p. 220, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels7040220>

ALVES FEDSB, SCHEER AP. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*), science, technology and health: A systematic review on research, recent advances and possible paths for future studies. *South African Journal of Botany*. 2024; 168: 573-587. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.008>

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis: 22nd Edition (2023)', in Dr. George W Latimer, Jr. (ed.), Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL, 22nd Edition (New York, 2023; online edn, AOAC Publications, 4 Jan. 2023), <https://doi.org/10.1093/9780197610145.002.001>, accessed 31 Oct. 2024.

ARAUJO, Q. R. D.; GATTWARD, J. N.; ALMOOSAWI, S.; PARADA COSTA SILVA, M. D. G. C.; DANTAS, P. A. D. S.; ARAUJO JÚNIOR, Q. R. D. Cocoa and human health: From head to foot—A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 56, n. 1, p. 1-12, 2016.

BAPTISTA, Iuri et al. Color is to flavor as shape is to texture: A choice-based conjoint study of visual cues on chocolate packaging. *Journal of Sensory Studies*, v. 38, n. 1, p. e12793, 2023.

BAPTISTA, Iuri et al. Effects of packaging color on expected flavor, texture, and liking of chocolate in Brazil and France. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, v. 24, p. 100340, 2021.

BARBOSA PO, DE SOUZA MO, PALA D, FREITAS RN. Açaí (*Euterpe oleracea* Martius) as an antioxidant. *Pathology*. 2020; 127-133. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815972-9.00012-3>

BARIŠIĆ, V. et al. Effect of addition of fibres and polyphenols on properties of chocolate—A review. *Food reviews international*, v. 37, n. 3, p. 225-243, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1701008>

BECKETT, S. T. Traditional chocolate making. *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use*, p. 1-8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch1>

BECKETT, S. T. Liquid chocolate making. In BECKETT S.T. (Ed.), *The science of chocolate* (3rd ed., pp. 65–84). Royal Society of Chemistry, 2019.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. [2] Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration. In: *Methods in enzymology*. Academic press, 1999. p. 15-27. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99005-5](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99005-5)

BOLENZ, S.; MANSKE, A.; LANGER, M. Improvement of process parameters and evaluation of milk chocolates made by the new coarse conching process. *European Food Research and Technology*, v. 238, p. 863-874, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00217-014-2165-4>

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. L. W. T. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*, v. 28, n. 1, p. 25-30, 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Nº 161, de 6 de julho de 2022. Estabelece os Padrões Microbiológicos dos Alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 6º de julho de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC Nº 724, de 1º de julho de 2022. Aprova o Regulamento Técnico sobre Padrões Microbiológicos para Alimentos. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 1º de julho de 2022.

BRUXEL F., RODRIGUES K.F, GASTMANN J., WINHELMANN M.C., SILVA S.M., HOEHNE L., DE FREITAS E.M. et al. Phytotoxicity of aqueous extract of *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil on *Conyza bonariensis* (L). *Cronquist. S. Afr. J. Bot.* 2022; 146: 546-552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.019>

BURGON, Vitor H. et al. Chocolates “bean to bar”: Origem, produção e processamento. *Ciência e Tecnologia de Alimentos: O Avanço da Ciência no Brasil*, p. 76-90, 2023.

CRUZ, Jaqueline Fontes Moreau et al. Bioactive compounds in different cocoa (*Theobroma cacao*, L) cultivars during fermentation. *Food Science and Technology*, v. 35, p. 279-284, 2015.

DEOU, J. et al. Decrease of the amount of fat in chocolate at constant viscosity by optimizing the particle size distribution of chocolate. *Food Structure*, v. 31, p. 100253, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2022.100253>

DIAS, J. et al. Evaluation of the impact of high pressure on the storage of filled traditional chocolates. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, v. 45, p. 36-41, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.08.019>

EFRAIM, P., PIRES, J. L., GARCIA, A. D. O., GRIMALDI, R., LUCCAS, V. PEZOA-GARCIA, N. H. Characteristics of cocoa butter and chocolates obtained from cocoa varieties grown in Bahia, Brazil. *European Food Research and Technology*, 237(3), pp.419-428, 2013.

EFRAIM, Priscilla; ALVES, Adriana Barreto; JARDIM, Denise Calil Pereira. Revisão: Polifenóis em cacau e derivados: teores, fatores de variação e efeitos na saúde. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 14, p. 181-201, 2011.

FAIRCHILD, Mark D. Color appearance models. John Wiley & Sons, 2013.

FEICHTINGER, A.; SCHOLTEN, E.; SALA, G. Effect of particle size distribution on rheological properties of chocolate. *Food & function*, v. 11, n. 11, p. 9547-9559, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1039/D0FO01655A>

FERNANDES, Vanessa A.; MÜLLER, Alejandro J.; SANDOVAL, Aleida J. Thermal, structural and rheological characteristics of dark chocolate with different compositions. *Journal of Food Engineering*, v. 116, n. 1, p. 97-108, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.002>

FERREIRA, Bárbara Cristina Ferrão et al. Processamento de cacau e chocolate: influência sobre a qualidade do produto final. In: *AVANÇOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS-VOLUME 5*. Editora Científica Digital, 2021. p. 300-334.

FLORES ERS, DAL BERTO M, RANZI AD, CADONÁ FC, MACHADO A, DOS SANTOS GFF, DA CRUZ IBM, MORRONE FB, GRAZIOTIN T, BICCA CG. Effect of guaraná extract (*Paullinia cupana*), an amazonian fruit richest in caffeine on human bladder cancer cell line. *Rev. Bras. Geriatr. Gerontol.* 2017; 8: 88-102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629>

FRANZEN F.L., MENEGAES J.F., ROSA J.R., PIGATTO G.M., LIDÓRIO H.F., BACKES F.A.A.L., OLIVEIRA M.S.R. Antioxidant and antimicrobial activity of edible flower extracts obtained by different extraction methods. *Ensaios Ciênc.* 2021; 25 (4): 513-520. DOI: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2021v25n4p513-520>

GLICERINA, V.; ROMANI, S. Advances in yield stress measurements for chocolate. In: *Advances in food rheology and its applications*. Woodhead Publishing, 2017. p. 707-730. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823983-4.00006-6>

GLICERINA, Virginia et al. Rheological, textural and calorimetric modifications of dark chocolate during process. *Journal of Food Engineering*, v. 119, n. 1, p. 173-179, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.05.012>

GOGOI R, SARMA N, LOYING R, PANDEY SK, BEGUM T, LAL M. A comparative analysis of bark and leaf essential oil and their chemical composition, antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial activities and genotoxicity of north east Indian *Cinnamomum zeylanicum* Blume. *J. Nat. Prod.* 2021; 11 (1): 74-84. DOI: <https://doi.org/10.2174/2210315509666191119111800>

HEYMANN, Hildegard; LAWLESS, Harry T. *Sensory evaluation of food: principles and practices*. Springer Science & Business Media, 2013.

IBADULLAH, W. Z. W. et al. Effect of Different Types of Emulsifiers on the Physical Characteristics and Fat Bloom Stability of Dark Chocolate with Cocoa Butter Alternatives. *Journal of Biochemistry, Microbiology and Biotechnology*, v. 12, n. SP1, p. 27-30, 2024.

JOSHI V, SHARMA GD, JADHAV SK. Alkamides: Multifunctional bioactive agents in *Spilanthes* spp. *J. Sci. Res.* 2020; 64: 198–206. DOI: 10.37398/JSR.2020.640129

KAUR, M. et al. Development of composite meat chocolate fortified with calcium and plant extracts. *Food Bioscience*, v. 42, p. 101082, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101082>

KONAR, Nevzat et al. Chocolate microstructure: A comprehensive review. *Food Research International*, p. 115091, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115091>

LABBACI FZ, BELKHODJA H, ELKADI FZ, MEGHARBI A, BELHOUALA K. HPLC-MS Analysis and evaluation of Antioxidant and Anti-Inflammatory Potential of Cinnamomum cassia Extract. *Tropical Journal of Natural Product Research*. 2023; 7 (8): 3637-3642. DOI: <http://www.doi.org/10.26538/tjnpr/v7i8.10>

LEITE, Paula Bacelar et al. Estudo reológico de chocolates elaborados com diferentes cultivares de cacau (*Theobroma cacao* L.). *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 16, p. 192-197, 2013.

LOFFREDO, L.; BARATTA, F.; LUDOVICA, P.; BATTAGLIA, S.; CARNEVALE, R.; NOCELLA, C.; ... DEL BEN, M. Effects of dark chocolate on endothelial function in patients with non-alcoholic steatohepatitis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, v. 28, n. 2, p. 143-149, 2018.

LOFFREDO, L.; PERRI, L.; NOCELLA, C.; VIOLI, F. Antioxidant and antiplatelet activity by polyphenol-rich nutrients: focus on extra virgin olive oil and cocoa. *British journal of clinical pharmacology*, v. 83, n. 1, p. 96-102, 2017.

LUCCAS, V. Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate. Tese (Doutorado em Engenharia Química) UNICAMP. Faculdade de Engenharia Química. Campinas, SP. 2001, 196 f.

MALKIN, Alexander Ya; DERKACH, Svetlana R.; KULICHIKHIN, Valery G. Rheology of gels and yielding liquids. *Gels*, v. 9, n. 9, p. 715, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels9090715>

MARCHIORETTO, C. et al. Nutritional value and acceptability of chocolate with high cocoa content and green banana biomass. *LWT*, v. 191, p. 115667, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115667>

MEDINA-MENDOZA, M. et al. Rheological, bioactive properties and sensory preferences of dark chocolates with partial incorporation of Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.) oil. *Heliyon*, v. 7, n. 2, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06154>

MUHAMMAD, D. R. A.; FIBRI, D. L. N.; PRAKASH, S. Improving the functionality of chocolate by incorporating vegetal extracts. *Trends in sustainable chocolate production*, p. 113-152, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-90169-1_4

NASCIMENTO LES, ARRIOLA NDA, DA SILVA LAL, FAQUETI LG, SANDJO LP, DE ARAÚJO CES, BIAVATTI MW, BARCELOS-OLIVEIRA JL, AMBONI RDMC. Phytochemical profile of different anatomical parts of jambu (*Acemella oleracea* (L.) R.K.

Jansen): A comparison between hydroponic and conventional cultivation using PCA and cluster analysis. *Food Chem.* 2020; 332: 127393. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.127393

NAZARENO AM, PURNAMASARI L, DELA CRUZ JF. In vivo and In vitro anti-diabetic effects of cinnamon (*Cinnamomum* sp.) plant extract: A review. *Canrea Journal: Food Technology, Nutritions, and Culinary Journal.* 2022; 5 (2): 151–171. DOI: <https://doi.org/10.20956/canrea.v5i2.673>

NETO, António Panda Fernandes. Influência da origem do cacau na caracterização do chocolate e aplicação da hiperpressão no aumento do tempo de prateleira de recheios. 2021. Tese de Doutorado. Universidade Nova de Lisboa, 2021. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/131204/1/Neto_2021.pdf.

OJULARI OV, LEE SG, NAM JO. Beneficial effects of natural bioactive compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. on obesity. *Molecules.* 2019; 24 (1): 210. DOI: 10.3390/molecules24010210

PEREIRA, G. A.; ARRUDA, H. S.; PASTORE, G. M. Modification and validation of Folin-Ciocalteu assay for faster and safer analysis of total phenolic content in food samples. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3895/rebrapa.v9n1.6062>

PIQUERAS-FISZMAN, Betina; SPENCE, Charles. The influence of the color of the cup on consumers' perception of a hot beverage. *Journal of Sensory Studies*, v. 27, n. 5, p. 324-331, 2012.

POLIŃSKI, S. et al. Impact of bioactive compounds of plant leaf powders in white chocolate production: Changes in antioxidant properties during the technological processes. *Antioxidants*, v. 11, n. 4, p. 752, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11040752>

POLIŃSKI, S. et al. Physicochemical, antioxidant, microstructural properties and bioaccessibility of dark chocolate with plant extracts. *Molecules*, v. 26, n. 18, p. 5523, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26185523>

POMBAL, Maria et al. Emulsifiers: Their Influence on the Rheological and Texture Properties in an Industrial Chocolate. *Molecules*, v. 29, n. 21, p. 5185, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules29215185>

PRADHAN, G. Modifying the health functionality of formulated chocolates. McGill University (Canada), 2021.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, v. 26, n. 9-10, p. 1231-1237, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)

ROGGIA I, DALCIN AJF, DE SOUZA D, MACHADO AK, DE SOUZA DV, DA CRUZ IBM, GOMES P et al. Guarana: Stability-Indicating RP-HPLC method and safety profile using microglial cells. *J Food Compost Anal.* 2020; 94: 103629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629>

SAMARAS, G. et al. Combining fracture mechanics and rheology to investigate the impact of micro-aeration on chocolate oral processing. *Soft Matter*, v. 20, n. 26, p. 5134-5152, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4SM00264D>

SANTOS, W. V. et al. Microbiological evaluation of dark chocolates made with plants extracts. In: ANAIS DO 15º SLACAN - Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos e Nutrição, 2023, Campinas. Anais eletrônicos. Campinas, Galoá, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/slacan-2023/trabalhos/microbiological-evaluation-of-dark-chocolates-made-with-plants-extracts?lang=en>

SILVEIRA JT, ROSA APC, MORAIS MG, VICTORIA FN, COSTA JAV. An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. *Food Research International*. 2023; 113304. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>

SIM, S. Y. J. et al. Plant polyphenols to enhance the nutritional and sensory properties of chocolates. *Food chemistry*, v. 200, p. 46-54, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.12.092>

STRÄHL, Patrick. Novel Processed Microstructure for Tailored Rheology and Perception Characteristics of Chocolate Confectionery Systems. ETH Zurich, 2014.

STROPPIA, V. L. Z. Cinética da redução do tamanho de partículas (refino) no processamento e qualidade de chocolates. Tese (Doutorado em Engenharia Química) da Universidade de Campinas. Campinas, p. 130. 2018.

TOKER, Omer Said et al. Chocolate flow behavior: Composition and process effects. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 63, n. 19, p. 3788-3802, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1993782>

VARZAKAS, T. 11 Chocolate Manufacturing. *Handbook of Food Processing: Food Safety, Quality, and Manufacturing Processes*, p. 351, 2015.

VISSOTTO, F. Z. et al. Caracterização físico-química e reológica de chocolates comerciais tipo cobertura elaborados com gorduras alternativas. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 2, n. 1-2, p. 139-148, 1999.

ZHISHEN, J.; MENGCHENG, T.; JIANMING, W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food chemistry*, v. 64, n. 4, p. 555-559, 1999. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)

DISCUSSAO GERAL

Os resultados obtidos no desenvolvimento de chocolates amargos com adição de extratos vegetais demonstram uma influência significativa dos compostos bioativos presentes nos extratos sobre o perfil sensorial. Esses resultados são relevantes, pois destacam a viabilidade de incorporar extratos vegetais em produtos de confeitaria, promovendo um impacto positivo tanto na saúde quanto na experiência sensorial dos consumidores.

O estudo aponta que a adição dos extratos proporcionou perfis sensoriais distintos e características funcionais desejáveis. Os extratos apresentaram alta capacidade antioxidante, contribuindo para o aumento da estabilidade oxidativa dos chocolates.

Em termos de funcionalidade, a adição dos extratos vegetais foi eficaz em aumentar a percepção de doçura e melhorar a textura dos chocolates. Isso sugere que os compostos bioativos desses extratos podem interagir de forma benéfica com os ingredientes do chocolate, criando produtos com características sensoriais mais atraentes e que ainda possuem um apelo funcional, como a presença de compostos antioxidantes.

O desenvolvimento desse chocolate mostra uma inovação na criação de produtos que combinam apelo sensorial e benefícios funcionais, atendendo às demandas atuais por alimentos mais saudáveis e alinhados a um estilo de vida consciente (Praseptianga; Invicta; Khasanah, 2019)

Os extratos se destacam pelo alto teor de compostos bioativos, especialmente antioxidantes. Esses compostos são conhecidos por sua capacidade de neutralizar radicais livres, protegendo as células do corpo contra o estresse oxidativo, que é associado ao envelhecimento precoce e ao desenvolvimento de doenças crônicas como câncer, diabetes e problemas cardiovasculares. Para consumidores preocupados com a saúde, a adição desses extratos a um alimento amplamente consumido como o chocolate oferece uma oportunidade de agregar valor nutricional à dieta diária, sem comprometer o prazer de consumir um produto indulgente (Sim et al., 2016; Muhammad; Fibri; Prakash, 2022).

A inclusão de extratos vegetais também modificou o perfil sensorial dos chocolates, criando experiências gustativas distintas e inovadoras. O extrato de

jambu, por exemplo, proporcionou a sensação tátil que pode ser considerada atraente e curiosa para consumidores que buscam experiências sensoriais diferenciadas. Além disso, a adição de extratos como hibisco e guaraná contribuiu para um sabor mais equilibrado, aumentando a percepção de doçura e suavizando o amargor típico dos chocolates com alto teor de cacau. Esses novos perfis sensoriais podem atender a diferentes preferências de consumidores, expandindo o apelo do chocolate amargo para aqueles que buscam sabores mais complexos e sofisticados.

A crescente demanda por alimentos naturais e sustentáveis também é contemplada com o uso de extratos vegetais. O consumo consciente tem impulsionado o interesse por produtos que não contenham aditivos artificiais e que promovam o uso de ingredientes naturais com benefícios à saúde. Nesse sentido, o uso de extratos de plantas ricas em compostos bioativos confere um diferencial ao chocolate, tornando-o mais atraente para consumidores que priorizam ingredientes naturais e funcionais. Além disso, a inclusão de plantas como a erva-mate e o guaraná, que fazem parte da cultura local, pode agregar valor social e ambiental ao produto (Poliński et al., 2022; Saritaş et al., 2024).

Com base nesses resultados, há uma oportunidade para a indústria de chocolates expandir sua linha de produtos e atingir novos nichos de mercado. Chocolates funcionais, enriquecidos com extratos vegetais, podem atrair consumidores que buscam indulgência com benefícios à saúde. Além disso, produtos com perfis sensoriais inovadores podem despertar o interesse de consumidores *gourmet*, sempre em busca de novas experiências. A pesquisa abre portas para a criação de chocolates personalizados para públicos específicos, como aqueles interessados em produtos antioxidantes, energéticos ou até mesmo com efeitos sensoriais únicos, como os proporcionados pelo jambu (Belščak-Cvitanović et al., 2015; Abedini et al., 2023).

Os extratos vegetais como açaí, canela, guaraná, hibisco, jambu e erva-mate causaram perfis sensoriais diferentes nos chocolates elaborados, como acidez, doçura e uma complexidade aromática. O extrato de jambu, por exemplo, forneceu ao chocolate, sensações diferentes e únicas para essa amostra, com características sensoriais mais dominantes de dormência e formigamento na boca. Essas sensações foram percebidas, pelos consumidores, devido ao espilantol, que é um composto bioativo presente na planta de jambu, responsável por essa percepção tátil química

incomum, que corroborada com estudos que discutem o uso de compostos bioativos em produtos com foco na experiência sensorial (Joshi et al., 2020; Poliński et al., 2021; Abedini et al., 2023).

Ademais, o uso desses extratos em chocolates atendeu a uma demanda crescente do consumidor por produtos diferenciados que vão além do sabor básico, proporcionando uma experiência sensorial ampla. Estudos encontrados na literatura também indicam o potencial do cacau e seus derivados em fornecerem benefícios adicionais ao consumidor, como antioxidantes e anti-inflamatórios, além de seus sabores característicos (Araujo et al., 2016; Loffredo et al., 2017; Loffredo et al., 2018).

A presente pesquisa também explorou a aceitação do consumidor em relação a aparência, aroma, sabor, textura, derretimento e impressão global dos chocolates, utilizando metodologias com testes descritivos clássicos e dinâmicos e testes afetivos e discriminativos como Análise Descritiva Quantitativa (ADQ®), Tempo-Intensidade (T-I), Dominância Temporal das Sensações (TDS), de consumidor, Check-all-that-apply (CATA) e entre outros. Observou-se que, embora a maioria dos consumidores aceitaram a inovação deste chocolate, trazida pela adição dos extratos vegetais, especialmente os extratos de hibisco e jambu, a sensação tátil de dormência proporcionada por esse último extrato citado, não foi amplamente aceita nas regiões pesquisadas. Isso ressalta a importância de entender as preferências regionais e adaptar os produtos conforme o perfil do consumidor (Sousa et al., 2021).

A adição de extratos no chocolate, também influenciou suas propriedades reológicas/tecnológicas. Os extratos de açaí, canela, guaraná e erva-mate contribuíram para uma textura mais suave, enquanto que os extratos de hibisco e jambu, aumentaram a resistência estrutural, conhecida como snap do chocolate. Nos chocolates com extratos de guaraná, hibisco e jambu, a tensão de ruptura foi mais elevada em relação aos outros chocolates com os outros extratos. Esse atributo pode ser associado a chocolates de alta qualidade. A literatura enfatiza que a alteração no perfil reológico de um produto, pode influenciar tanto o perfil sensorial quanto a aceitação do consumidor por esse produto (Alvarez et al., 2021; Samaras et al., 2024).

A determinação do potencial antioxidante mostrou que os extratos de erva-mate e guaraná, apresentaram altos níveis de potencial antioxidante. Isso foi evidenciado pelos ensaios ABTS, DPPH e FRAP, em que estes extratos se destacaram em relação aos demais extratos avaliados. Esses resultados são

consistentes com a literatura, que destaca a erva-mate e o guaraná como fontes ricas em antioxidantes naturais, especialmente compostos fenólicos e flavonoides (Roggia et al., 2020; Bruxel et al., 2022; Alves; Scheer, 2024).

Esse potencial antioxidante dos extratos foi observado nos chocolates elaborados, em que a maioria das amostras com extratos apresentaram um aumento significativo no potencial antioxidante em relação ao chocolate controle, para os métodos ABTS e FRAP. E para o teor de compostos bioativos, esse aumento significativo também foi observado nos chocolates com extratos, quando comparado com o chocolate controle. Esse aumento na atividade antioxidante com a adição dos extratos vegetais reforça a viabilidade de desenvolver chocolates funcionais com apelo de benefícios para a saúde.

A literatura recente enfatiza a busca por chocolates com adição de compostos bioativos, que vão além do sabor e oferecem benefícios à saúde. Estudos destacam a importância dos polifenóis de plantas em melhorar as propriedades nutricionais e sensoriais de chocolates (Araujo et al., 2016; Loffredo et al., 2017; Loffredo et al., 2018; Poliński et al., 2021; Abedini et al., 2023). Os resultados desta pesquisa corroboram para essa linha de pesquisa, mostrando que os extratos vegetais, quando incorporados ao chocolate, não apenas mantêm as propriedades antioxidantes, mas também podem elevar o valor funcional do produto.

Esses resultados são, portanto, de grande importância para os consumidores modernos, que buscam cada vez mais produtos que aliem prazer, saúde e sustentabilidade. A indústria pode capitalizar essas descobertas para oferecer produtos que não só satisfazem o paladar, mas também promovem o bem-estar e atendem às crescentes preocupações com a saúde e o meio ambiente (Petcu et al., 2023).

Em suma, a presente pesquisa de desenvolvimento de chocolates amargos com adição de extratos vegetais demonstrou ser uma estratégia promissora para atender consumidores que buscam produtos diferenciados e com ingredientes naturais. Os resultados mostram que a seleção e combinação de extratos podem ser direcionadas para criar perfis sensoriais variados, mantendo um valor funcional.

CONCLUSÃO GERAL

Os resultados revelam um potencial inovador no uso de extratos vegetais, como alternativa saudável e funcional, ao promover benefícios tanto para a saúde quanto para o paladar. Além disso, a pesquisa demonstra a importância de estudar as interações entre compostos bioativos e matrizes alimentares para desenvolver novos produtos que atendam às demandas dos consumidores por alimentos saudáveis e de qualidade sensorial elevada.

Os extratos vegetais estudados apresentaram boas fontes de compostos fenólicos, com importante potencial antioxidante que pode ser considerado benéfico para a saúde, como os extratos de guaraná e erva-mate. O consumo regular de alimentos ricos em compostos fenólicos está associado a vários benefícios à saúde, como a redução do risco de doenças cardiovasculares, câncer, diabetes e outras condições crônicas. A caracterização físico-química dos extratos vegetais mostrou uma grande quantidade de nutrientes com baixos valores energéticos que são importantes para a dieta. O extrato de hibisco apresentou o maior teor de cinzas e a maior concentração de elementos químicos, bem como um perfil mais ácido entre os extratos estudados, e isso foi percebido pelos consumidores. O extrato de guaraná apresentou o maior teor de proteína, enquanto o extrato de jambu apresentou o maior teor de lipídios e valor energético, e esses teores maiores interferiram nas características reológicas dos chocolates elaborados.

Em relação à cor dos extratos, os extratos de canela, guaraná e erva-mate seca apresentaram coloração mais clara, enquanto os extratos de açaí, hibisco e jambu apresentaram coloração mais escura, mas isso não interfereu na avaliação dos consumidores, em relação aos chocolates elaborados. O extrato de canela apresentou o maior tamanho de partícula enquanto o extrato de erva-mate apresentou o menor tamanho de partícula entre os extratos estudados, mas na etapa de refino, na elaboração dos chocolates, essas partículas foram diminuídas, não sendo perceptíveis pelos consumidores. Os resultados físico-químicos e de composição proximal desta pesquisa mostraram que o uso de extratos vegetais como corantes ou ingredientes em formulações de chocolates, pode ser uma estratégia interessante na indústria chocolateira, pois, no geral, o uso destes ingredientes naturais não afetaram as características de textura em relação a aceitação do chocolate pelos consumidores.

A maioria dos extratos testados, como açaí, canela, guaraná e erva-mate, não apenas preservaram, mas também enriqueceram as características sensoriais dos chocolates e com isso, mantiveram uma boa aceitação sensorial comparando-se com o chocolate controle. Essas formulações conseguiram equilibrar o sabor amargo do cacau com as notas adicionadas pelos extratos, sem prejudicar a maciez e o derretimento, atributos considerados ideais pela maioria dos consumidores

A aceitação revelou variações de preferências entre os consumidores do Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, indicando que a aceitabilidade de produtos com extratos vegetais pode ser otimizada por meio de uma segmentação de mercado. A análise de preferências de embalagens, destacou a influência das cores e *design*, que também é um aspecto importante, sugerindo que a percepção visual do produto pode ser estrategicamente utilizada para aumentar a aceitação e intenção de compra. A utilização combinada da ADQ e do T-I permitiu uma avaliação completa das amostras. A ADQ forneceu uma descrição detalhada dos atributos sensoriais, enquanto o T-I capturou a evolução temporal de atributos críticos, como amargor, doçura, sensação de dormência e sabor chocolate, durante o consumo.

Embora o uso de extratos vegetais tenha diversificado o perfil sensorial, amostras como as com extratos de hibisco e jambu apresentaram um amargor prolongado, que pode não ser atraente para todos os consumidores. Isso pode limitar a aceitação no mercado. O extrato de jambu, reduziu a percepção de doçura, o que pode comprometer a aceitação entre consumidores que preferem chocolates menos amargos ou com uma doçura mais equilibrada.

Este estudo, como um todo, fornece uma base sólida e científica para o uso de extratos vegetais como ingredientes em chocolates amargos, demonstrando que é possível criar produtos que combinam sabor, textura e benefícios para a saúde. No entanto, o desafio permanece em relação à bioacessibilidade dos compostos e ao controle da interação entre os extratos e a matriz do chocolate. Estudos futuros podem focar em como diferentes processos de fabricação, como a conchagem refino e temperagem, podem otimizar essas interações para maximizar a estabilidade e funcionalidade dos produtos finais. Além disso, a expansão para mercados específicos e o desenvolvimento de campanhas educativas sobre os benefícios desses produtos podem aumentar a aceitação do consumidor e consolidar o chocolate funcional no mercado de alimentos saudáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS GERAIS

- AGYEMANG, P. *et al.* The design and development of a dashboard for improving sustainable healthy food choices. **Science of The Total Environment**, v. 930, p. 172726, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172726>
- KABASAKAL-CETIN, A.; AKSARAY, B.; SEN, G. The role of food literacy and sustainable and healthy eating behaviors in ultra-processed foods consumption of undergraduate students. **Food Quality and Preference**, v. 119, p. 105232, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2024.105232>
- HALES, J. *et al.* Reflections on food policy in the context of healthy and sustainable diets. **Food Policy**, v. 128, p. 102708, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102708>
- WU, Y. *et al.* Effects of thermal processing on natural antioxidants in fruits and vegetables. **Food Research International**, p. 114797, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114797>
- MATEUS, A. R. S.; PENA, A.; SANCHES-SILVA, A. Unveiling the Potential of Bioactive Compounds in Vegetable and Fruit By-Products: Exploring Phytochemical Properties, Health Benefits, and Industrial Opportunities. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, p. 100938, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100938>
- GARNETT, K. *et al.* Future foods: Morphological scenarios to explore changes in the UK food system with implications for food safety across the food chain. **Futures**, v. 149, p. 103140, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.futures.2023.103140>
- KENNEY, E. *et al.* How livelihood change affects food choice behaviors in low-and middle-income countries: A scoping review. **Advances in Nutrition**, p. 100203, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100203>
- ANDERSON, K. Trade-related food policies in a more volatile climate and trade environment. **Food Policy**, v. 109, p. 102253, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2022.102253>
- YUAN, Y. *et al.* Revisiting China's supermarket revolution: Complementarity and co-evolution between traditional and modern food outlets. **World Development**, v. 147, p. 105631, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2021.105631>

- MARIUTTI, L. R. B. *et al.* The use of alternative food sources to improve health and guarantee access and food intake. **Food Research International**, v. 149, p. 110709, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110709>
- VIGNESH, A. *et al.* A Review on the Influence of Nutraceuticals and Functional Foods on Health. **Food Chemistry Advances**, v. 5, p. 100749, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100749>
- ARUNACHALAM, K.; SREEJA, P. S.; YANG, X. Mechanisms and therapeutic actions of edible fruits in inflammatory bowel disease: a review of pre-clinical studies. **Food Chemistry Advances**, v. 3, p. 100498, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100498>
- NXUMALO, K. A.; AREMU, A. O.; FAWOLE, O. A. Metabolite profiling, antioxidant and antibacterial properties of four medicinal plants from Eswatini and their relevance in food preservation. **South African Journal of Botany**, v. 162, p. 719-729, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.10.008>
- TAK, Y. *et al.* Underutilized fruit lasoda (*Cordia myxa* L.): Review on bioactive compounds, antioxidant potentiality and applications in health bioactivities and food. **Fitoterapia**, v. 175, p. 105898, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2024.105898>
- RAJA, K.; KADIRVEL, V.; SUBRAMANIYAN, T. Seaweeds, an aquatic plant-based protein for sustainable nutrition-A review. **Future Foods**, v. 5, p. 100142, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100142>
- GIEZENAAR, C. *et al.* Effects of intrinsic and extrinsic product characteristics related to protein source, health and environmental sustainability, on product choice and sensory evaluation of meatballs and plant-based alternatives. **Food Quality and Preference**, v. 113, p. 105070, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105070>
- CAREY, C. N. *et al.* The environmental sustainability of plant-based dietary patterns: A scoping review. **The Journal of nutrition**, v. 153, n. 3, p. 857-869, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tjnut.2023.02.001>
- BRYANT, C. J. Plant-based animal product alternatives are healthier and more environmentally sustainable than animal products. **Future Foods**, v. 6, p. 100174, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100174>

- ARAUJO, N. M. P. *et al.* Potential of Brazilian berries in developing innovative, healthy, and sustainable food products. **Sustainable Food Technology**, v. 2, n. 3, p. 506-530, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1039/d3fb00130j>
- JIA, H. *et al.* Enhancing bioactive compounds in plant-based foods: Influencing factors and technological advances. **Food Chemistry**, v. 460, pt. 3, p. 140744, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140744>
- HEWAGE, A. *et al.* Novel extraction technologies for developing plant protein ingredients with improved functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 129, p. 492-511, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.016>
- LEE, P. Y.; LEONG, S. Y.; OEY, I. The role of protein blends in plant-based milk alternative: A review through the consumer lens. **Trends in Food Science & Technology**, v. 143, p. 104268, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104268>
- IHSAN, A. *et al.* New trends in functionalities and extraction of plant proteins in designing plant-based meat analogues: **A critical review. Food Bioscience**, v. 57, p. 103476, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103476>
- SOUZA, A. H. S. *et al.* The impact of plant-based product denomination on consumer expectations and sensory perception: A study with vegan chocolate dessert. **Food Research International**, v. 196, p. 115069, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115069>
- VERNA, R. The history and science of chocolate. **The Malaysian journal of pathology**, v. 35, n. 2, p. 111-121, 2013. Disponível em: <http://www.mjpath.org.my/2013.2/history-and-science-of-chocolate.pdf>. Acesso em: 20 set. 2024.
- AMAYA, L. Y. C.; PABÓN, L. C. O. Chocolate: más que un dulce. **Revista Convicciones**, v. 4, n. 7, p. 117-127, 2017. Disponível em: <https://www.fesc.edu.co/Revistas/OJS/index.php/convicciones/article/view/125>. Acesso em: 20 set. 2024.
- MONTAGNA, M. T. *et al.* Chocolate, “food of the gods”: History, science, and human health. **International journal of environmental research and public health**, v. 16, n. 24, p. 4960, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16244960>
- BEG, M. S. *et al.* Status, supply chain and processing of cocoa-A review. **Trends in food science & technology**, v. 66, p. 108-116, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.007>

CHÉVEZ-VERA, H. D. *et al.* Chocolate: Origins, current technology and production of antioxidants beneficial to health. **Ciencia y Tecnología**, v. 14, n. 1, p. 45-53, 2021.

DOI: <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i1.458>

MORAMARCO, S.; NEMI, L. Nutritional and Health Effects of Chocolate. **The Economics of Chocolate**, 1st ed.; Squicciarini, MP, Swinner, J., Eds, p. 134-156, 2016. Disponível em:

https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=rzs6CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA134&dq=MORAMARCO,+S.+NEMI,+L.+Nutritional+and+Health+Effects+of+Chocolate.+In+The+Economics+of+Chocolate,+1st+ed.+Squicciarini,+M.P.,+Swiner,+J.,+Eds.+Oxford+University+Press:+New+York,+NY,+USA,+2016%3B+pp.+134%E2%80%93156&ots=AglzEy9QD1&sig=MG-AQZ_IYt5KY9hPyk-fp8ZUL8c#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 20 set. 2024.

CINAR, Z. Ö. *et al.* Cocoa and cocoa bean shells role in human health: An updated review. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 103, p. 104115, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104115>

FUSAR-POLI, L. *et al.* The effect of cocoa-rich products on depression, anxiety, and mood: A systematic review and meta-analysis. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 62, n. 28, p. 7905-7916, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1920570>

VERONESE, N. *et al.* Is chocolate consumption associated with health outcomes? An umbrella review of systematic reviews and meta-analyses. **Clinical Nutrition**, v. 38, n. 3, p. 1101-1108, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2018.05.019>

FRUMUZACHI, O. *et al.* A systematic review of randomized controlled trials on the health effects of chocolate enriched/fortified/supplemented with functional components. **Food & Function**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4FO01574F>

SPERKOWSKA, B. *et al.* Cardiovascular effects of chocolate and wine—narrative review. **Nutrients**, v. 13, n. 12, p. 4269, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13124269>

LIN, X. *et al.* Cocoa flavanol intake and biomarkers for cardiometabolic health: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. **The Journal of nutrition**, v. 146, n. 11, p. 2325-2333, 2016. DOI: <https://doi.org/10.3945/jn.116.237644>

- MASTROIACOVO, D. *et al.* Cocoa flavanol consumption improves cognitive function, blood pressure control, and metabolic profile in elderly subjects: the Cocoa, Cognition, and Aging (CoCoA) Study—a randomized controlled trial. **The American journal of clinical nutrition**, v. 101, n. 3, p. 538-548, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092189>
- MELLOR, D. D. *et al.* Sugar and cocoa: sweet synergy or bitter antagonisms. Formulating cocoa and chocolate products for health: a narrative review. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 53, n. 1, p. 33-42, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.13651>
- TAN, T. Y. C. *et al.* The health effects of chocolate and cocoa: A systematic review. **Nutrients**, v. 13, n. 9, p. 2909, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu13092909>
- KITANI, Y.; PUTRI, S. P.; FUKUSAKI, E. Investigation of the effect of processing on the component changes of single-origin chocolate during the bean-to-bar process. **Journal of bioscience and bioengineering**, v. 134, n. 2, p. 138-143, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2022.05.007>
- SILVEIRA, P. T. S. *et al.* Varietal and harvest influence on the sensory characteristics of chocolates made with cocoa fermented with different pulp contents. **LWT**, p. 116768, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116768>
- HARUNA, L. *et al.* Effect of Partial pulp removal and fermentation duration on drying behavior, nib acidification, fermentation quality, and flavor attributes of Ghanaian cocoa beans. **Journal of Agriculture and Food Research**, p. 101211, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101211>
- MOUGANG, N. N. *et al.* Influence of fermentation time, drying time and temperature on cocoa pods (*Theobroma cacao* L.) marketability. **Applied Food Research**, v. 4, n. 2, p. 100460, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.afres.2024.100460>
- FOSTER, K. A. *et al.* Effects of alternative hermetic bag storage on fermented and dried cocoa bean (*Theobroma cacao* L.). **Journal of Stored Products Research**, v. 107, p. 102351, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jspr.2024.102351>
- AKOA, S. P. *et al.* Sugar profile and volatile aroma composition in fermented dried beans and roasted nibs from six controlled pollinated Cameroonian fine-flavor cocoa (*Theobroma cacao* L.) hybrids. **Food Bioscience**, v. 53, p. 102603, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102603>

SERVENT, A. *et al.* Assessment of cocoa (*Theobroma cacao* L.) butter content and composition throughout fermentations. **Food Research International**, v. 107, p. 675-682, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.070>

BECKETT, S. T. Traditional chocolate making. **Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use**, p. 1-8, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch1>

BECKETT, S. T. The science of chocolate. **Royal Society of Chemistry**, 2019. [https://books.google.com.br/books?hl=pt-](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=8sl6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=beckett+chocolate&ots=rfd8zZ9cBl&sig=xcd bj639NNTg13Xwbl-1VGxPMwl#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false)

[BR&lr=&id=8sl6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=beckett+chocolate&ots=rfd8zZ9cBl&sig=xcd bj639NNTg13Xwbl-1VGxPMwl#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=8sl6DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=beckett+chocolate&ots=rfd8zZ9cBl&sig=xcd bj639NNTg13Xwbl-1VGxPMwl#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false)

BECKETT, S. T.; FOWLER, M. S.; ZIEGLER, G. R. (Ed.). Beckett's industrial chocolate manufacture and use. **John Wiley & Sons**, 2017. [https://books.google.com.br/books?hl=pt-](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=x_AaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA24&dq=beckett+chocolate&ots=un-LSVXVIN&sig=xEngPmGAhGIJuOger14kprA33EU#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false)

[BR&lr=&id=x_AaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA24&dq=beckett+chocolate&ots=un-LSVXVIN&sig=xEngPmGAhGIJuOger14kprA33EU#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false](https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=x_AaDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA24&dq=beckett+chocolate&ots=un-LSVXVIN&sig=xEngPmGAhGIJuOger14kprA33EU#v=onepage&q=beckett%20chocolate&f=false)

AUGUSTO, P. P. C.; BOLINI, H. M. A. The role of conching in chocolate flavor development: A review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 21, n. 4, p. 3274-3296, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12975>

CASTRO-ALAYO, E. M. *et al.* Effect of tempering and cocoa butter equivalents on crystallization kinetics, polymorphism, melting, and physical properties of dark chocolates. **LWT**, v. 173, p. 114402, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114402>

ZIEGLEDER, G. Flavour development in cocoa and chocolate. **Beckett's industrial chocolate manufacture and use**, p. 185-215, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch8>

HERRERA-ROCHA, F. *et al.* Omics approaches to understand cocoa processing and chocolate flavor development: A review. **Food Research International**, v. 165, p. 112555, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112555>

ANDRADE, A. B. *et al.* Influence of under-fermented cocoa mass in chocolate production: Sensory acceptance and volatile profile characterization during the processing. **LWT**, v. 149, p. 112048, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112048>

- BECERRA, L. D. *et al.* Modulating fine flavor cocoa attributes: Impact of seed-to-bean transformation under controlled conditions on metabolite, volatile and sensory profiles. **Food Research International**, p. 115109, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115109>
- KU, M. C. Y.; LIU, S. Q. Unveiling the cocoa-carob flavour gap in dark chocolates via instrumental and descriptive sensory analyses. **Food Research International**, p. 114992, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114992>
- MAHATO, D. K. *et al.* Optimisation of natural sweeteners for sugar reduction in chocolate flavoured milk and their impact on sensory attributes. **International Dairy Journal**, v. 115, p. 104922, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104922>
- BOLINI, H. M. A. *et al.* Consumer Acceptance Studies of Margarine to Guide Product Development in the Food Industry. **Foods**, v. 13, n. 1, p. 116, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13010116>
- GUCKENBIEHL, Y. *et al.* Aroma-active volatiles and rheological characteristics of the plastic mass during conching of dark chocolate. **Food Research International**, v. 162, p. 112063, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112063>
- HINNEH, M. *et al.* Pod storage with roasting: A tool to diversifying the flavor profiles of dark chocolates produced from 'bulk' cocoa beans? (Part II: Quality and sensory profiling of chocolates). **Food Research International**, v. 132, p. 109116, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109116>
- BAGNULO, E. *et al.* Industrial food quality and consumer choice: Artificial intelligence-based tools in the chemistry of sensory notes in comfort foods (coffee, cocoa and tea). **Trends in Food Science & Technology**, p. 104415, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104415>
- HERRERA-ROCHA, F. *et al.* Bioactive and flavor compounds in cocoa liquor and their traceability over the major steps of cocoa post-harvesting processes. **Food Chemistry**, v. 435, p. 137529, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137529>
- ESCOBAR, S. *et al.* Fine cocoa beans production: Tracking aroma precursors through a comprehensive analysis of flavor attributes formation. **Food Chemistry**, v. 365, p. 130627, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130627>
- MCCLURE, A. P.; HOPFER, H.; GRÜN, I. U. Optimizing consumer acceptability of 100% chocolate through roasting treatments and effects on bitterness and other

- important sensory characteristics. **Current Research in Food Science**, v. 5, p. 167-174, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.01.005>
- SAVITRI, D. A. *et al.* Cocoa and Chocolate Products: The Sensory Characteristics That Affect Consumers' Acceptance. **Journal La Lifesci**, v. 3, n. 3, p. 119-127, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37899/journallalifesci.v3i3.723>
- HARWOOD, M. L.; HAYES, J. E. Sensory evaluation of chocolate and cocoa products. **Beckett's industrial chocolate manufacture and use**, p. 509-520, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch21>
- SILVEIRA, J. T. *et al.* An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, p. 113304, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>
- AMORIM, D. S. *et al.* Nonthermal technologies for the conservation of açaí pulp and derived products: A comprehensive review. **Food Research International**, p. 113575, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113575>
- SHARIFI-RAD, J. *et al.* Cinnamomum species: bridging phytochemistry knowledge, pharmacological properties and toxicological safety for health benefits. **Frontiers in Pharmacology**, v. 12, p. 600139, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.600139>
- MINI RAJ, N. *et al.* Cinnamon and Indian Cinnamon (Indian Cassia). In: **Handbook of Spices in India: 75 Years of Research and Development**. Singapore: Springer Nature Singapore, p. 2921-2991, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3728-6_43
- FLORES, E. R. S. *et al.* Effect of guaraná extract (*Paullinia cupana*), an amazonian fruit richest in caffeine on human bladder cancer cell line. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, v. 8, p. 88-102, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629>
- CADONÁ, F. C. *et al.* Guaraná, a highly caffeinated food, presents in vitro antitumor activity in colorectal and breast cancer cell lines by inhibiting AKT/mTOR/S6K and MAPKs pathways. **Nutrition and cancer**, v. 69, n. 5, p. 800-810, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/01635581.2017.1324994>

- ADEWUYI, A. *et al.* Atherogenic index and lipid profiles in albino rats fed with surface modified *Hibiscus sabdariffa* cellulose. **Scientific African**, v. 14, p. e01025, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01025>
- OJULARI, O. V. LEE, S. G.; NAM, J. O. Beneficial effects of natural bioactive compounds from *Hibiscus sabdariffa* L. on obesity. **Molecules**, v. 24, n. 1, p. 210, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24010210>
- DALLAZEN, J. L. *et al.* Pharmacological potential of alkylamides from *Acmella oleracea* flowers and synthetic isobutylalkyl amide to treat inflammatory pain. **Inflammopharmacology**, v. 28, p. 175-186, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10787-019-00601-9>
- PIRES, I. V.; DA SILVA, A. E. Caracterização e capacidade antioxidante do jambu (*Spilanthes oleracea* L.) *in natura* procedente do cultivo convencional e de hidroponia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 74624-74636, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n10-040>
- NODARI, E.; GERHARDT, M. The Uruguay River: A Permeable Border in South America. **Review of International American Studies**, v. 14, n. 1, p. 201-227, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31261/rias.10047>
- ALVES, F. E. S. B.; SCHEER, A. P. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*), science, technology and health: A systematic review on research, recent advances and possible paths for future studies. **South African Journal of Botany**, v. 168, p. 573-587, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.008>
- COYAGO-CRUZ, E. *et al.* Exploring Plants with Flowers: From Therapeutic Nutritional Benefits to Innovative Sustainable Uses. **Foods**, v. 12, n. 22, p. 4066, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12224066>
- MIRANDA, C. T. C. S. *et al.* Unconventional Edible Plants of the Amazon: Bioactive Compounds, Health Benefits, Challenges, and Future Trends. **Foods**, v. 13, n. 18, p. 2925, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13182925>
- FRANZEN, F. L. *et al.* Teor e rendimento de extratos de flores obtidos por diferentes métodos e períodos de extração. **Acta Iguazu**, [S. l.], v. 7, n. 1, p. 9–21, 2018. DOI: 10.48075/actaiguaz.v7i1.16765. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/16765>. Acesso em: 24 set. 2024.

- SIDDIQUI, S. A. *et al.* A Critical Review of Consumer Responsibility in Promoting Sustainable Cocoa Production. **Current Research in Food Science**, v. 9, p. 100818, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100818>.
- PRASEPTIANGGA, D.; INVICTA, S. E.; KHASANAH, L. U. Sensory and physicochemical characteristics of dark chocolate bar with addition of cinnamon (*Cinnamomum burmannii*) bark oleoresin microcapsule. *Journal of food science and technology*, v. 56, p. 4323-4332, 2019.
- SIM, S. Y. J. *et al.* Plant polyphenols to enhance the nutritional and sensory properties of chocolates. *Food chemistry*, v. 200, p. 46-54, 2016.
- MUHAMMAD, D. R. A.; FIBRI, D. L. N.; PRAKASH, S. Improving the functionality of chocolate by incorporating vegetal extracts. *Trends in sustainable chocolate production*, p. 113-152, 2022.
- SARITAŞ, S. *et al.* Functional chocolate: exploring advances in production and health benefits. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 59, n. 8, p. 5303-5325, 2024.
- POLIŃSKI, S. *et al.* Impact of bioactive compounds of plant leaf powders in white chocolate production: Changes in antioxidant properties during the technological processes. *Antioxidants*, v. 11, n. 4, p. 752, 2022.
- ABEDINI, A. *et al.* Fortification of chocolates with high-value-added plant-based substances: Recent trends, current challenges, and future prospects. *Food Science & Nutrition*, v. 11, n. 7, p. 3686-3705, 2023.
- BELŠČAK-CVITANOVIĆ, A. *et al.* Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food chemistry*, v. 167, p. 61-70, 2015.
- PETCU, C. D. *et al.* Harnessing natural antioxidants for enhancing food shelf life: Exploring sources and applications in the food industry. *Foods*, v. 12, n. 17, p. 3176, 2023.
- JOSHI V, SHARMA GD, JADHAV SK. Alkamides: Multifunctional bioactive agents in *Spilanthes* spp. *J. Sci. Res.* 2020; 64: 198–206. DOI: 10.37398/JSR.2020.640129
- POLIŃSKI, S. *et al.* Physicochemical, antioxidant, microstructural properties and bioaccessibility of dark chocolate with plant extracts. *Molecules*, v. 26, n. 18, p. 5523, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26185523>

- ABEDINI, A. et al. Fortification of chocolates with high-value-added plant-based substances: Recent trends, current challenges, and future prospects. *Food Science & Nutrition*, v. 11, n. 7, p. 3686-3705, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.3387>
- ARAUJO, Q. R. D.; GATTWARD, J. N.; ALMOOSAWI, S.; PARADA COSTA SILVA, M. D. G. C.; DANTAS, P. A. D. S.; ARAUJO JÚNIOR, Q. R. D. Cocoa and human health: From head to foot—A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, v. 56, n. 1, p. 1-12, 2016.
- LOFFREDO, L.; PERRI, L.; NOCELLA, C.; VIOLI, F. Antioxidant and antiplatelet activity by polyphenol-rich nutrients: focus on extra virgin olive oil and cocoa. *British journal of clinical pharmacology*, v. 83, n. 1, p. 96-102, 2017.
- LOFFREDO, L.; BARATTA, F.; LUDOVICA, P.; BATTAGLIA, S.; CARNEVALE, R.; NOCELLA, C.; ... DEL BEN, M. Effects of dark chocolate on endothelial function in patients with non-alcoholic steatohepatitis. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, v. 28, n. 2, p. 143-149, 2018.
- SOUSA, R. L. et al. Impact of sweetness on the sensory acceptance of passion fruit nectar in Brazilian geographic regions. *International Journal of Food Science & Technology*, v. 56, n. 6, p. 3055-3065, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.14949>
- ALVAREZ, M. D. et al. Development of chocolates with improved lipid profile by replacing cocoa butter with an oleogel. *Gels*, v. 7, n. 4, p. 220, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/gels7040220>
- SAMARAS, G. et al. Combining fracture mechanics and rheology to investigate the impact of micro-aeration on chocolate oral processing. *Soft Matter*, v. 20, n. 26, p. 5134-5152, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4SM00264D>
- ROGGIA I, DALCIN AJF, DE SOUZA D, MACHADO AK, DE SOUZA DV, DA CRUZ IBM, GOMES P et al. Guarana: Stability-Indicating RP-HPLC method and safety profile using microglial cells. *J Food Compost Anal*. 2020; 94: 103629. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103629>
- BRUXEL F., RODRIGUES K..F, GASTMANN J., WINHELMANN M.C., SILVA S.M., HOEHNE L., DE FREITAS E.M. et al. Phytotoxicity of aqueous extract of *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil on *Conyza bonariensis* (L). *Cronquist. S. Afr. J. Bot*. 2022; 146: 546-552. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2021.10.019>
- ALVES FEDSB, SCHEER AP. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*), science, technology and health: A systematic review on research, recent advances and possible paths for

future studies. South African Journal of Botany. 2024; 168: 573-587. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.008>