UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

CÉLIO MATIAS AIRONE MACALIA

O EFEITO DO ULTRASSOM NA BIODISPONIBILIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE FRUTAS AMAZÔNICAS

Dissertação – Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais

Manaus - AM
2024

Suporte:

CÉLIO MATIAS AIRONE MACALIA

O EFEITO DO ULTRASSOM NA BIODISPONIBILIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE FRUTAS AMAZÔNICAS

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito necessário para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Engenharia de Materiais.

Orientador: Prof. Dr. Edgar Aparecido Sanches

Manaus – AM

2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M114e

Macalia, Célio Matias Airone
O efeito do ultrassom na biodisponibilidade de compostos bioativos de frutas amazônicas / Célio Matias Airone Macalia . 2024
113 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Edgar Aparecido Sanches
Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Frutas amazônicas. 2. Ultrassom. 3. Compostos bioativos. 4. Biodisponibilidade. 5. Digestibilidade in vitro. I. Sanches, Edgar Aparecido. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

Ata do Exame de Defesa Pública de Mestrado do discente **CÉLIO MATIAS AIRONE MACALIA**, do Curso de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, realizada no dia 19 de fevereiro de 2024.

Às 9h do dia 19 de fevereiro de 2024, na modalidade remota, foi realizado o Exame de Defesa de Mestrado do discente **CÉLIO MATIAS AIRONE MACALIA**, com dissertação intitulada ***"O EFEITO DO ULTRASSOM NA BIODISPONIBILIDADE DE COMPOSTOS BIOATIVOS DE FRUTAS AMAZÔNICAS"***, como requisito de seu trabalho de Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais. A Banca Examinadora constitui-se dos seguintes professores: Prof. Dr. Edgar Aparecido Sanches (Orientador e Presidente – PPGCEM/UFAM), Prof. Dr. Adriano de Souza Carolino (UFAM) e Profa. Dra Alessandra Ramos Lima (IFSC/USP). Após a apresentação do trabalho, os examinadores fizeram as observações concernentes. Todas as sugestões da Banca Examinadora serão consideradas pelo discente. Em seguida, a Banca Examinadora reuniu-se e concedeu o conceito **APROVADO**. Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, em Manaus, 19 de fevereiro de 2024.

Prof. Dr. Edgar Aparecido Sanches (Orientador e Presidente)
Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais (PPGCEM/UFAM)

Adriano de Souza Carolino

Prof. Dr. Adriano de Souza Carolino
Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Alessandra Ramos Lima

Profa. Dra. Alessandra Ramos Lima
Instituto de Física de São Carlos (IFSC/USP)

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. **Edgar Aparecido Sanches**, um líder abnegado, excelente orientador, um Pai científico no qual terei sempre gratidão eterna, que sempre acreditou em mim e motivou-me bastante na perseverança e no trabalho de pesquisa, agradeço imensamente pelo apoio integral e em todos os momentos mais difíceis dessa caminhada, encorajando-me e me mostrando as formas de continuar lutando para o realizar com êxito essa pesquisa que culmina em um trabalho de mestrado. Por fazer parte da minha formação profissional e pessoal, pois hoje sou com certeza uma pessoa com horizontes fortes.

À **Josiana Moreira Mar,** a minha companheira de bancada do grupo de alimentos e antioxidantes, pelo passo a passo, pelo compartilhamento os saberes locais e regionais levarei para vida.

Ao Prof. Dr **Adriano de Souza Carolino**, amigo íntegro que sempre esteve comigo em momentos bons e difíceis, tanto na vida pessoal quanto academica, a sua amizade abriu novos horizontes na análise estatística e muito mais, pelo incentivo e cada palavra meiga, sou eternamente grato irmão.

A família LabYM, **Ana Luísa Farias Rocha, Camila Ruzo Macena, Ronald Zico Nunes, Kalil Araújo, Jamilton Boaes, Matheus Biondo,** os meus agradecimentos a todos vocês pelo enorme apoio que foram me proporcionaram todos os dias, onde, como e porque fazer assim, onde pegar, seguir o cotidiano do laboratório, pelas correções de cada palavra no meu linguajar.

Aos meus Pais **Matias Airone Macalia** (biológico) & **Roberto Chipanda** (criação) (**in memoriam**)**,** pela vida e existência na Terra. Pela criação desde os primeiros passos e todo o ensinamento vital, sei o quanto feliz estão nesse momento testemunhando minhas conquistas etapa por etapa. Saudades eternas até sempre.

A minha mãe **Julieta Rosalina Muassiza Mussa,** pelo cordão umbilical no qual foi me gerando dentro dela, minha amiga de sempre. Muitíssimo obrigado por tudo por sempre me dizer filho levante corra e não desista um dia vai conseguir, por ser essa pessoa única.

A minha divã e amiga de todos os momentos **Dulce Agostinho Manuel Manjoro,** obrigado amor da minha vida por aceitar esse desafio, me encorajando do lado de lá a continuar nessa batalha dizendo sempre que tudo dê certo. Pelo amor incondicional que me tem proporcionado a cada fala do dia.

Aos meus irmãos **Wazara, Edson, Nimilode e Alcides** por terem todo o sempre me apoiado e encorajando-me, pelo conformo nas vossas sabias palavras.

Aos colegas da Universidade Rovuma no seu todo, desde a reitoria, a Faculdade de Ciências, a Direção do Instituto Superior de Desenvolvimento Rural e Biociências, ao Departamento de Ciência, Tecnologia Engenharia e Matemática, ao curso de ensino de química.

Às demais amizades que cultivei durante esta caminhada, um agradecimento especial a Prof.a Doutora **Iolanda Lamera,** M.A **Angelina Júlio Chadreque**, pela pré recepção e acolhimento residencial e as demais tratativas da documentação.

A Universidade Federal do Amazonas, a Faculdade de Tecnologia e ao Programa de Pós-Graduação em Física pela recepção, ensino, pesquisa durante o aprendizado nessa etapa. A CAPES pela bolsa de mestrado, ao CNPq e FAPEAM pelos equipamentos e materiais utilizados no Laboratório, adquiridos por recursos destes.

A Universidade Rovuma-Extensão de Niassa (Moçambique) pela autorização e tramitação da papelada e pagamento da passagem de vinda, ao Grupo de cooperação de Universidades Brasileiras (GCUB-ProAfri), aos Ministérios de Relações Exteriores do Brasil e Moçambique, Ministério de Ensino Superior-Sector de Bolsas de Estudo e planificação pela comparticipação do seguro de viagem e visto para estudos, as Embaixadas de Moçambique-Brasil pela conceção do visto, e confirmação de ciência de todos os documentos.

Enfim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho que culmina na minha formação acadêmica.

Muitíssimo, obrigado!

MACALIA, Célio Matias Airone

DEDICATÓRIA

A minha filha: ***Lassariny da Gressy Célio Macalia,***

RESUMO

O ultrassom desempenha um papel crucial na maximização da liberação de compostos bioativos, promovendo eficiência, preservação de nutrientes, tendo como vantagens em termos de produtividade, rendimento seletivi dade, riscos químicos e físicos reduzidos, além de ser ecologicamente correto, contribuindo para práticas mais sustentáveis na liberação de compostos bioativos de sucos de frutas. Comparado com outras técnicas de extra ção de compostos bioativos como por exemplo, prensagem, extração por solvente decocção extração por soxh let são técnicas com baixa seletividade, tempo de processamento longo, alto consumo de reagente no processo de extração. Atualmente existente várias técnicas de extração e liberação de compostos bioativos em sucos de frutas amazônicas como: Pressão por campo elétrico, prensagem, extração por solvente, extração por soxhlet. Entre outras, apesar dos avanços científicos no uso dessa técnica emergente, pouco se observa sobre o uso do ultrassom na extração de compostos bioativos das espécies amazônicas, das quais podem ser citadas o Abricó (*Mammea americana L.)*, Cubiu (*Solanum sessiliflorum Dunal*) e Mari-mari (*Cassia leiandra* banth*)*, bem co mo análise de digestibilidade *in vitro* (biodisponibilidade). Assim, o presente estudo centrou-se em avaliar o u so do ultrassom na biodisponibilidade de compostos bioativos dos frutos Abricó (AB), Cubiu (CB) e mari-ma ri (MM), sendo essas espécies típicas da região Norte, ricos em fibras, compostos bioativos, atividades antiox idantes, Vitaminas A, B e C e sais minerais, além de serem digestivos e utilizados na medicina popular. Fora m realizadas análises físico-químicas: pH, cor, sólidos solúveis, acidez titulável, composição centesimal, min erais e químicas: Compostos fenólicos totais, ação antioxidante pelos métodos de radicais livres DPPH (2,2-d ifenil-1-picrilidrazil), ABTS (2,2-azino-bis-(3etil-benzotiazolina-6-ácidosulfônico), FRAP (poder de redução férrico), carotenoides, também foi realizada uma caracterização química por espectroscopia de absorção mole cular de UV-Visível e infravermelho por transformada de Fourier com módulo - ATR (FTIR-ATR) para verif icar transições eletrônicas e modos vibracionais característicos de certos grupos funcionais. Os resultados obti dos por meio da análise de cor demostraram diferenças significativas nos parâmetros L*(luminosidade), a*(ve rmelho-verde), b*(amarelo-azul) a 40% de sonicação para AB e CB. Conteúdo centesimal houve maior teor d e umidade (15,49%) no suco AB, e menor teor de lipídios nos sucos de CB e MM (0,75%) respetivamente, ho uve liberação dos compostos bioativos dos sucos das espécies AB e CB pois apresentaram conteúdo significat ivo de compostos fenólicos totais (138,00 ± 1,03 mg EAG.mL^{-1}), capacidade antioxidante avaliado por DPPH (1204 ± 3,82 e 1125 ± 3,63 µmol TE/100 mL) na potência de 60% para sucos de AB e CB, e não teve influên cia da sonicação o suco MM, ABTS (2028,55 ± 4.44 µM/ TE) foi destaque no suco de MM sem tratamento, f oi observado uma significância na potência de 60% para AB e CB em torno de (1464 ± ,76 µmol trolox.mL) e uma redução foi registada em torno de 20% para AB (316 ± 3.33 µmol trolox.mL), FRAP (1732,77 ± 1,6 , 1022 ± 1,61 e 97,77 ± 0,05) nos sucos de AB e CB para potência de 60%, carotenoides (200 ± 0.80 e 146 ± 3 1.0 µg/mL equivalentes de β-caroteno), foi registado na potência de 60% para CB e AB. Por meio da caracter ização química de modulo ATR (FTIR-ATR) foi possível observar mudança significativa nos espectros de FT IR das amostras após tratamento ultrassónico, como também se observou as transições eletrônicas de π - π*, e m uma banca fraca de absorção na região de 283 a 285, a qual desloca para curtos comprimentos de onda com o aumento da polaridade do grupo carbonil. Estudo indicou que a extração por ultrassom a 60% é viável, econ ômico e amigo do ambiente para liberação de compostos ricos em compostos fenólicos, carotenoides. Estudos futuros serão dedicados a realizar outras análises de caracterização química e microbiológicas para identificar , quantificar e avaliar a estabilidade dos sucos tratados.

Palavras-Chave: Frutas amazônicas; ultrassom; compostos bioativos; biodisponibilidade; digestibilidade.

ABSTRACT

Ultrasound plays a crucial role in maximizing the release of bioactive compounds, promoting efficiency, nutrient preservation, and offering advantages in terms of productivity, yield, and selectivity. It also reduces chemical and physical risks while being environmentally friendly, contributing to more sustainable practices in releasing bioactive compounds from fruit juices. In comparison to other techniques such as pressing, solvent extraction, decoction, and Soxhlet extraction, which have low selectivity, long processing times, and high reagent consumption, ultrasound stands out.Various techniques for extracting and releasing bioactive compounds in Amazonian fruit juices, such as electric field pressure, pressing, solvent extraction, and Soxhlet extraction, currently exist. Despite scientific advances in the use of this emerging technique, little attention has been given to ultrasound in extracting bioactive compounds from Abricó (Mammea americana L.), Cubiu (Solanum sessiliflorum Dunal), and Mari-mari (Cassia leiandra banth) fruits, including their in vitro bioavailability and digestibility.This study focused on evaluating the use of ultrasound in the bioavailability of bioactive compounds from Abricó (AB), Cubiu (CB), and Mari-mari (MM) fruits. These species are typical of the Northern region, rich in fibers, bioactive compounds, antioxidants, Vitamins A, B, and C, and minerals, and are commonly used in traditional medicine as digestive aids. Physical-chemical analyses, including pH, color, soluble solids, titratable acidity, centesimal composition, and mineral content, were conducted. Chemical analyses included total phenolic compounds, antioxidant activity using DPPH, ABTS, and FRAP methods, carotenoids, and molecular absorption spectroscopy through UV-Visible and Fourier-transform infrared spectroscopy with attenuated total reflectance (FTIR-ATR) to observe electronic transitions and vibrational modes of specific functional groups. Results from color analysis showed significant differences in L*, a*, b* parameters with 40% sonication for AB and CB. Centesimal content revealed higher moisture content (15.49%) in AB juice and lower lipid content in CB and MM juices (0.75%), respectively. Bioactive compounds were released in AB and CB juices, as indicated by significant total phenolic content (7.26 ± 1.03 mg GAE/mL), antioxidant capacity assessed by DPPH (1204 ± 3.82 and 1125 ± 3.63 µmol TE/100 mL) at 60% power for AB and CB. The influence of sonication on MM juice was negligible. ABTS (2028.55 ± 4.44 µM/TE) was prominent in untreated MM juice. At 60% power, AB and CB showed (1464 ± 0.76 µmol trolox/mL), with a 20% reduction for AB (316 ± 3.33 µmol trolox/mL) in FRAP. Carotenoids (200 ± 0.80 and 146 ± 31.0 µg/mL β-carotene equivalents) were recorded at 60% power for CB and AB. FTIR-ATR chemical characterization revealed significant changes in spectra after ultrasound treatment, including electronic transitions of π - π* and a weak absorption band shifting from 283 to 285 in the carbonyl group region, indicating shorter wavelengths with increased carbonyl group polarity. The study suggests that 60% ultrasound extraction is viable, cost-effective, and environmentally friendly for releasing phenolic and carotenoid-rich compounds Future studies will be dedicated to conducting additional chemical and microbiological characterization analyses to identify, quantify, and assess the stability of the treated juices.

Keywords: Amazonian fruits; ultrasound; bioactive compounds; bioavailability; digestibility

LISTA DE SÍMBOLOS E ACRÔNIMOS

AB - Abricó

ABTS 2,2-azino-bis (acido-3-etilbenzotiazotiazolina-6-sulfonico

AAC – Atividade Antioxidante celular

AEAG - atividade antioxidante ao ácido gálio

CB - Cubiu

DPPH-1,1-definil-picri hidrazil

Eq. – equação

FRAP-Poder antioxidante redutor de ferro

GAE-equivalente ao ácido gálio

MM – Mari-mari

TEAC-antioxidante equivalente ao trolox

TPC-teor fenólico total

TPTZ tripiridil-s-tiazina

PANC´s -plantas alimentícias não convencionais

PCA – Análise de componentes principais

US – Sonda ultrassónica

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diversidade de frutas, no bioma amazônico: A) Mari-mari, B) Variedade de frutos, C) Cupuaçu; D) Abricó; E) Ajuru; F) Pupunha. 17

Figura 2: Fruto Abricó (drupa volumosa, polpa compacta e sementes ovaladas). 18

Figura 3: Fruto abricó: (A) fruto abricó na planta, (B) fruto abricó cortada por parte, (C) polpa 19

Figura 4: Planta da espécie (Solanum sessiliflorum): (A) fruto Cubiu na planta, (B) fruto cubiu maduro, (C) fruto cubiu descascado em corte vertical. 20

Figura 5: (A) Planta na área de várzea, (B) frutos inteiros, (C) Fruto aberto; (C) sementes removidas do fruto. 22

Figura 6: representa rede bibliométrico de palavras-chave dos autores em publicações sobre uso do ultrassom, compostos bioativos, antioxidantes e digestibilidade. 25

Fgura 7: A rede de colaboração de países sobre as palavras-chave. 26

Figura 8:Rede de colaboração de revistas indexadas pela Scopus e web of Science sobre palavras-chave: ultrassom, antioxidantes, bioacessibilidade, compostos bioativos. 27

Figura 9: Esquema de Processo físico de cavitação ultrassónica. (A) cavitação por onda sonoro; (B) cavitação por raio da bolha 34

Figura 10: Esquema sobre processo de sonicação, implosões e explosões periódicas de cavitação por ondas. 35

Figura 11: Representação esquemática de transições eletrônicas nos orbitais Homo e Lumo. 40

Figura 12: Preparo das amostras da polpa do fruto AB, CB e MM e o processo de extração das substâncias pela técnica de ultrassom, seguindo das análises de antioxidantes e caraterizações (FTIR). 43

Figura 13: Frutos Abricó (a), Cubiu (b) e MM (c), suco liofilizado do Abricó (d), do Cubiu (e) e Mari-mari (f), Sucos de Abricó (g), Cubiu (h), e Mari-mari (i). 44

Figura 14: Tratamento ultrassónico em diferentes potências dos sucos. a) sonda ultrassonica sonicando suco, b) condensador, c) suco de AB à 40% sonicado, d) suco MM sonicado a 40% e e) suco de cubiu a 20% sonicado. 45

Figura 15: Composição centesimal do suco sonicado e liofilizado das espécies (AB, CB e MM) em 100 g (% de suco). 52

Figura 16: Parâmetros de cor para sucos de Abricó, Cubiu e Mari-mari tratados com ultrassom..... 60
Figura 17: Teor de compostos fenólicos dos sucos das espécies de AB, CB e MM tratados por US..... 62
Figura 18: Efeito do potencial antioxidante dos sucos de AB, CB e MM tratados por US pelo método DPPH 64
Figura 19: Efeito do potencial antioxidante dos sucos de AB, CB e MM tratados por US e pelo método ABTS. 66
Figura 20: Efeito do potencial antioxidante dos sucos de AB, CB e MM tratados por US pelo método de Folin – Ciocaltou por redução férrica. 68
Figura 21: Efeito da potência do US no conteúdo total de carotenóides de suco das espécies AB e CB..... 69
Figura 22: apresenta os espectros de absorção UV-Vis dos sucos de Abricó liofilizado, tratados por ultrassom..... 70
Figura 23: apresente os espectros de absorção UV-Vis dos sucos de cubiu liofilizado, tratados por ultrassom..... 72
Figura 24: apresenta espectros UV-visível do suco mari-mari..... 73
Figura 25: Espectros de FTIR registrados na faixa de 4.000 a 680 cm^{-1} para amostras de AB sonicado e liofilizadas. 75
Figura 26: Espectros de FTIR registrados na faixa de 4.000 A 680 cm^{-1} para amostra CB liofilizado e tratado por ultrassom 78
Figura 27: Espectros de FTIR registrados na faixa de 4.000 A 680 cm^{-1} para amostra MM liofilizado, MM 0 e vitamina C. 80
Figura 28: Gráfico de carregamento dos componentes principais. 82
Figura 29: Gráfico de carregamento dos componentes principais entre ensaios antioxidantes e amostras de AB, CB e MM nas diferentes potências..... 83
Figura 30: Análise de correlação de Pearson entre composição centesimal e minerais..... 85
Figura 31: Bioacessibiidade de compostos fenólicos do AB e CB, sonicado a 60 %..... 87
Figura 31: Bioacessibiidade de compostos fenólicos do AB e CB, sonicado a 60 %..... 87
Figura 32: Teor de constituintes de compostos bioativos referente à: (a) DPPH, (b) ABTS, (c) carotenoides e (d) FRAP do suco AB antes e após a digestibilidade in vitro. 83

Figura 32: Teor de constituintes de compostos bioativos referente à: (a) DPPH, (b) ABTS, (c) carotenoides e (d) FRAP do suco AB antes e após a digestibilidade in vitro. 83
Figura 33: Teor de constituintes de compostos bioativos atividade antioxidante por (a) DPPH, (b) ABTS, (c) Carotenoides e (d) FRAP para suco 60% sonicado de CB..... 86
Figura 33: Teor de constituintes de compostos bioativos atividade antioxidante por (a) DPPH, (b) ABTS, (c) Carotenoides e (d) FRAP para suco 60% sonicado de CB..... 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Frutas amazônicas: Técnicas de extração para liberação de compostos bioativos em combinação com análise de digestibilidade in vitro. 23
Tabela 2: Composição de minerais dos sucos de AB, CB e MM. 54
Tabela 3: Resultados sobre a caracterização físico-química dos sucos AB, CB e MM com e sem tratamento por ultrassom. 56
Tabela 4: Análises de cor da espécie AB, antes e após o tratamento ultrassônico em diferentes potências. 57
Tabela 5: Análise de cor da espécie AB, antes e após o tratamento ultrassônico em diferentes potências. 58
Tabela 6: Análise de cor da espécie MM, antes e após o tratamento ultrassônico em diferentes potências. 59
Tabela 7: Modos de vibração dos espectros FTIR de amostra de AB liofilizado, sonicado. 77
Tabela 8: Modos de vibração dos espectros FTIR de amostra de CB liofilizado, sonicado. 79
Tabela 9: Modos de vibração dos espectros FTIR de amostra de MM liofilizado, sonicado. 81

SUMÁRIO

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1. Contextualização 15

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.Biodiversidade Amazônica 17

2.1. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs) e frutos amazônicos 17

2.2. Botânica dos Sucos 18

2.2.2. Cubiu 20

2.2.3. Mari-mari 21

2.3. Mapeamento quantitativo de publicações científicas - produção, impacto e inter-relações 24

2.4. Compostos vegetais e bioatividade 28

2.4.1. Atividade antioxidante 29

2.5. Ultrassom 33

2.5.1. Técnica de sonicação 33

2.6. Espectroscopia no Ultravioleta 39

3.OBJETIVOS 42

3.1. Gerais 42

3.2. Específicos 42

4.CAPÍTULOIV: METODOLOGIA 43

4.1.Procedimentos Experimental 43

4.2. Coleta e Preparo das Amostras Vegetais 43

4.3. Processamento dos sucos por Ultrassom 45

4.4. Análises físico – químicas dos Sucos 46

4.4.1. Composição centesimal 46

4.4.2. Minerais 46

4.4.3. Análise de pH 46

4.4.4. Análise de acidez total 46

4.4.5. *Análise de sólidos solúveis* 46

4.4.6. Determinação dos parâmetros de cor 47

4.5. *Análises das ações antioxidantes* 47

4.5.2. Análise ação antioxidante pelo método DPPH• 48

4.5.3. Análise ação antioxidante pelo método ABTS $^{\bullet+}$ 48

4.5.4. Análises do poder antioxidante da redução férrica 49

4.6. Caracterização química por meio de espectroscopia de absorção molecular na região UV-Vis 49

4.7. Caracterização química por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier com módulo ATR (FTIR-ATR) 50

4.8. Análise da Digestibilidade *in vitro* 50

4.9. Análise estatística 51

CAPÍTULO V: Resultados, discussão e Prespectiva futuras 52

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO 52

5.1. Caracterização física -química 52

5.1.1. Composição centesimal 52

5.1.2. Composição de minerais 54

5.1.4. Medidas de parâmetros de Cor 57

5.2. Análise da atividade antioxidante 61

5.2.1. Capacidade antioxidante 61

5.2.2. Ação antioxidante pelo método DPPH• 64

5.2.3. *Ação antioxidante pelo método ABTS* $^{\bullet+}$ 65

5.2.4. *Ação antioxidante da redução férrica* 67

5.2.5. *Teor de carotenoides* 69

5.3. Caracterização espectroscopia de Ultravioleta visível (UV-Vis) 70

5.4. Caraterização espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier com modulo ATR (FTIR-ATR) 74

5.5. Correlações e Análise de componentes principais 81

5.5.1. Análise dos componentes principais dos ensaios antioxidantes 82

5.6. Correlação 84

5.7. Bioacessibilidade 87

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E SUGESTÕES 91

6.1. Conclusão 91

6.2. Perspectivas futuras 93

7.REFERÊNCIAS 94

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

1. Contextualização

O Brasil apresenta uma biodiversidade única, oferecendo frutas, tubérculos, sementes, folhas, e raízes que são ricas em nutrientes. Estas riquezas naturais são valorizadas devido seu grande potencial de compostos bioativos, como por exemplo os frutos de Açaí ricos em antocianinas [1]. O aumento da oferta e demanda de alimentos diversificados representam uma alternativa ao consumo alimentar, além de fornecer novos compostos bioativos que contribuem para a saúde do consumidor [1], [2].

O Abricó *(Mammea americana)*, Cubiu *(Solanum sessiliflorum* Dunal*)* e Mari-mari (*Cassia leiandra* Banth) são frutos nativos e com maior abundância na região amazônica e consideradas plantas alimentícia não convencional (PANC) por possuir uma ou mais partes comestíveis [1], [3]–[5], (ou seja, a colheita ainda tem caráter extrativista). Além disso, é pelo fato delas não serem popularizadas, quer seja na região e no Brasil todo, porém, o conhecimento mais limitado em algumas comunidades do Amazônia. Apesar do seu consumo ser prioritariamente *in natura*, são espécies rústicas, de fácil cultivo, com alta produtividade e com possibilidade de exploração nas áreas de alimentos, cosméticos, nutracêuticos e medicinal [6].

Elas possuem componentes antioxidantes, que retardam o envelhecimento precoce, previnem o câncer, a aterosclerose, doenças cardiovasculares e doenças inflamatórias [7]. Ricos em compostos antioxidantes como antocianinas (cianidina-3-rutinose e cianidina-3-glicosídeo, compostos fenólicos), e minerais [3]. No entanto, muitas destas frutas apresentam alto teor de fibras que dificultam a absorção de nutrientes e compostos bioativos durante a digestão no trato gastrointestinal [3], [7].

Os métodos tradicionais de extração, como extração por solvente, destilação e prensagem, apresentam certas desvantagens, incluindo menor eficiência de extração, rendimento reduzido e uso de quantidades significativas de solventes ou recursos. Além disso, certos métodos de extração necessitam de temperaturas elevadas, o que pode afetar negativamente compostos bioativos [8]. Consequentemente, os pesquisadores estão a explorar tecnologias não térmicas para desenvolver métodos de extração eficientes e ecológicos. Alguns estudos já vem sendo realizados utilizando ultrassom como fonte de energia não contaminante, sendo reconhecida como tecnologia de extração ecologicamente correta e altamente eficiente [9]. O ultrassom tem potencial para minimizar ou eliminar a necessidade de solventes

orgânicos, reduzindo assim o seu impacto no ambiente. Além disso, o ultrassom é uma técnica única relacionada à cavitação (temperaturas locais extremamente altas (em torno de 5.000 K) e pressões (acima de 1.000 atmosferas) geradas em uma fase líquida) que é hoje uma tecnologia ecoambietal bem-conceituada em síntese orgânica e síntese total de produtos naturais [10], [11].

A extração assistida por ultrassom têm sido uma técnica amplamente utilizada para extrair compostos de interesse das matrizes vegetais que utilizam métodos de extração por solventes [11]. O processamento de alimentos por ultrassom pode representar uma alternativa para melhorar a biodisponibilidade de compostos ativos. Além disso, a técnica de ultrassom baseada em laboratório pode auxiliar a extração de material vegetal, como é o caso de fibras, compostos bioativos com a função de atividades antioxidantes, obtenção de Vitaminas A, B e C e sais minerais, é fortemente recomendada.

Existem cada vez mais estudos científicos comprovando quanto a pertinência e benefício do processamento ultrassónico na manutenção e obtenção de compostos bioativos de sucos de frutas [3], [7],[4]. Estudos anteriores de purê de caju [12], suco de goiaba [7] ,suco de açaí [3] confirmaram que, aumento da biodisponibilidade de compostos bioativos foi devido aplicação e/ou uso de ultrassom.

Porém, a literatura cientifica ainda é escassa em estudos que envolvam frutas silvestres amazônicos, por isso, os avanços tecnológicos têm sido intensificados de modo que permitam a avaliação de métodos alternativos para extrair compostos bioativos que sejam accessíveis, menos tóxicos e amigos do ambiente.

Sendo assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o efeito de diferentes potências do ultrassom para otimização de extração de compostos bioativos dos sucos de abricó (AB), cubiu (CB) e mari-mari (MM) visando melhorar seus rendimentos e potenciais antioxidantes. O trabalho também realizou a caracterização físico-química dos sucos, teor de compostos fenólicos, potencial de sequestro dos radicais livres por 2,2-difenil-1-picrilidrazil (DPPH) e 2,2-azino-bis-3etil-benzotiazolina-6-ácidosulfônico (ABTS), potencial de redução férrica (FRAP), e carotenoides, composição de minerais e centesimal, espectroscopia no Ultravioleta Visível (UV-vis), infravermelho por transformada e Fourier com modulo de ATR (FTIR-ATR) e ensaios de digestibilidade *in vitro*.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2. Biodiversidade Amazônica

A Amazônia é considerada um bioma mundial, pois contém uma grande variedade de frutos, como mostra a **Figura 1.** O bioma amazônico, é conhecido por sua grande heterogeneidade florística, o clima tropical e solo rico em matéria orgânica favorecem a produção e desenvolvimento de uma alta variedade de espécies de frutos com importância alimentícia, medicinal, farmacológica [13], [14], [15], [16].

Figura 1*:* Diversidade de frutas, no bioma amazônico: A) Mari-mari, B) Variedade de frutos, C) Cupuaçu; D) Abricó; E) Ajuru; F) Pupunha.

Fonte: Adaptado pelo autor (2023).

2.1. Plantas alimentícias não convencionais (PANCs) e frutos amazônicos

Existem espécie de plantas silvestres que possuem potencial alimentar, mas tem uso restrito a apenas um ou pouco grupos de humanos, sendo chamadas de plantas alimentícias não convencionais (PANCs) no Brasil[17], [18]. Embora as PANCs tenham um potencial alimentar negligenciado pela maioria das populações humanas, algumas destas espécies também podem desempenhar um papel importante no tratamento de doenças. Ao considerar o potencial destas plantas, é importante avaliar os fatores que contribuem para partilha de conhecimento e utilização das PANCs entre as pessoas [17], [19].

Desde a pré-história os frutos desempenham um papel importante na alimentação humana, que antes possuía hábitos nômades e dependia do fornecimento sazonal dos alimentos, passou a desenvolver técnicas de cultivo e conservação dos vegetais e a ter hábitos sedentários [20].

O foco das pesquisas sobre matérias provenientes de alimentos e sua matriz era no valor nutricional. Entretanto, nos últimos anos esse foco tem se voltado a outras propriedades dos alimentos (suco de frutos) como manutenção da qualidade de vida e longevidade [21][22].

Neste sentido, as espécies AB, CB e MM podem oferecer alternativas a estratégias que abordem não só a segurança alimentar e nutricional, como também o tratamento de doenças provocadas por estresse oxidativo.

2.2. Botânica dos Sucos

2.2.1. Abricó

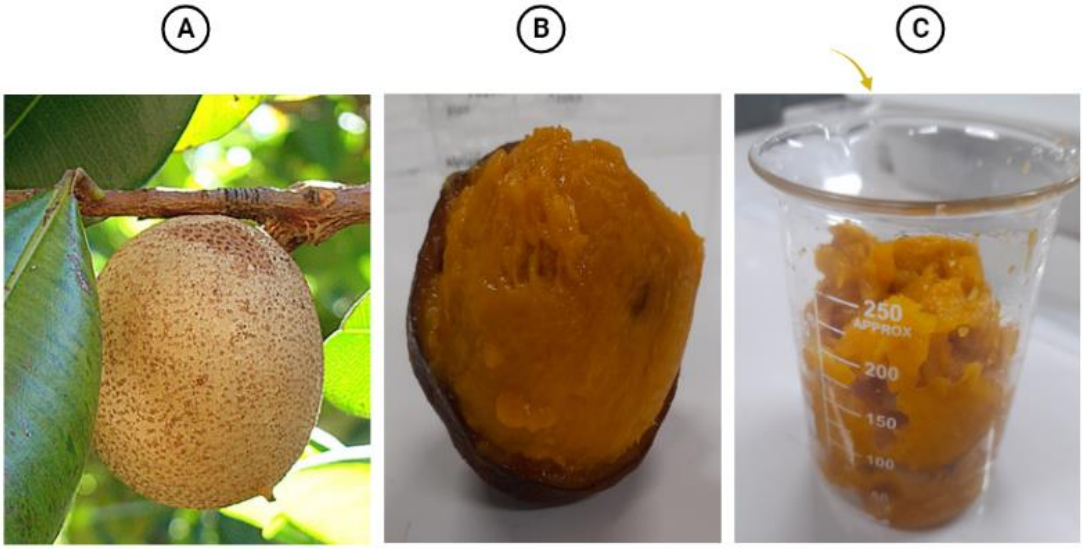
O abricó (*Mammea americana L.*) também conhecido como abricó-do-pará, abricó de são domingos e abricó-selvagem é típica da região amazônica, principalmente no estado do Pará. Pode ser encontrada entre os meses de junho e dezembro e é mais consumida na forma *in nature* [23]. Pertence à família Clusiaceae, possui um porte arbóreo podendo atingir até 20 m de altura. O fruto é uma drupa volumosa de 12 a 18 cm de diâmetro, constituída de polpa compacta, firme, cor amarelada, sementes ovaladas, com 6 a 8 cm de comprimento se apresentam com número de um a quatro por fruto, como mostra a **(figura 2).**

Figura 2: Fruto Abricó (drupa volumosa, polpa compacta e sementes ovaladas).

Fonte: Patro et al (2018)

É fruto de coloração amarelo avermelhado, contendo fontes vitamina A, B e C, fenólicos, carotenoides e alto teor de fibras [5], [24], [25]. Possui um alto potencial agroindustrial, porém pouco investigado motivo esse por ter sido selecionado o fruto dessa espécie para a materialização dessa pesquisa. A **figura 3** apresenta imagens da polpa do abricó:

Figura 3: Fruto abricó: (A) fruto abricó na planta, (B) fruto abricó cortada por parte, (C) polpa



Fonte: O autor (2023).

O fruto é uma grande baga esférica achatada que pode atingir 10 a 25 cm de diâmetro envolto em uma casca marrom grossa com aparência de couro. Esse fruto é famoso por suas qualidades nutritivas, é suculento com alto teor de água cerca de 86% quando à comparação com outras frutas tropicais, como manga (60 kcal por 100 g), goiaba (68 kcal por 100 g), banana (89 kcal por 100 g) ou coco (354 kcal por 100 g), o abricó pode ser considerado um baixo -fruta calórica com 51 kcal por 100 g [26][27]. Além disso, o fruto é rico em carotenoides que possui uma ampla gama de propriedades promotoras da saúde, estes compostos apoiam o sistema imunológico, processo de cicatrização de feridas e protegem contra os efeitos nocivos da radiação ultravioleta (UV). Por isso, são usados na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética [10], [28].

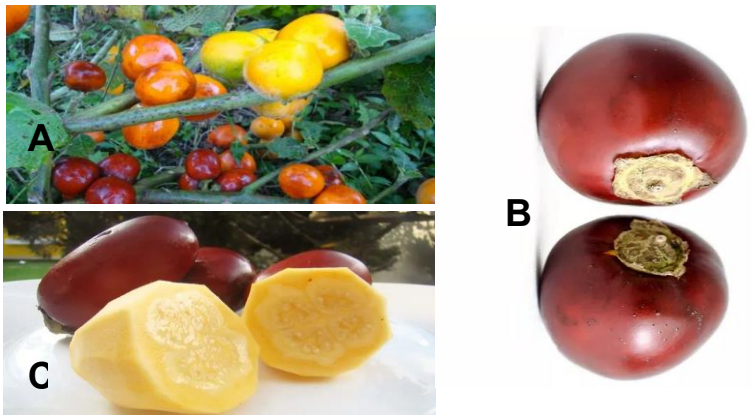
A literatura sustenta sobre maneira que, alimentos minimamente processados contendo composição nutricional e compostos bioativos tem atraídos atenção dos seres humanos. Por esta razão, as grandes empresas e indústrias que lidam com alimentos tem se mostrado com maior interesse no desenvolvimento de processos para valorizar os frutos considerados silvestres [29]–[31].

2.2.2. Cubiu

O cubiu *(Solanum sessiliflorum* Dunal*)* é uma importante fruteira nativa da Amazônia e considerada uma planta alimentícia não convencional (PANC) por possuir uma ou mais partes comestíveis [5], os principais constituintes, como por exemplo, (ácidos graxos essências, compostos fenólicos, minerais) do CB foram relatados efeitos terapêuticos, atividades antimicrobianas contra grupos patogênicos, com propriedades de hipocolesterolemia e hipoglicemia, redução dos níveis de triglicerídeos, colesterol LDL, glicose sérico, além de elevar os níveis do colesterol HDL. Além disso, atividade antioxidante do CB [3] [5]. Essa é uma planta de característica arbustiva de 1 a 2 metros de altura, com condições ótimas de cultivo, o fruto dela cresce dois meses e vinte dias após o plantio [32].

Na **figura** 4, estão apresentados vários estágios de desenvolvimento do fruto CB, na 4A) fruto na planta, B) fruto CB maduro e C) fruto CB descascado em corte vertical esse fruto possui um formato ovalado, cores que variam desde o amarelo até o vermelho. E um fruto exótico, possui sabor caraterístico e agradável o que indica o baixo teor de açúcar. Sendo altamente produtivo utilizado como suco, néctares, compotas, doces e outros [9], [33].

Figura 4: Planta da espécie (Solanum sessiliflorum): (A) fruto Cubiu na planta, (B) fruto cubiu maduro, (C) fruto cubiu descascado em corte vertical.



Fonte: Sereno, (2017).

As caraterísticas e propriedades funcionais do fruto, alem de facilitar a forma de uso e aceitação do produto, é necessário o emprego de novas tecnologias de processamento. [34]. Possui alto teor de umidade (90,63%), fibras alimentar (3,60%) e pectina, com relevantes características nutricionais, as quais permanecem disponíveis inclusive após o processamento [7],[3],[6], razoes pelas quais foi selecionado a fruta para presente pesquisa.

2.2.3. Mari-mari

O mari-mari apresentado na **figura 5**, é um fruto nativo da Amazônia pertencente à família Fabaceae. Bastante consumido ao natural, também é conhecido como ingá-mari e seruaia. [35], [36]. As árvores são semiperenifólias, com copa piramidal e ampla, ritidoma grosso e rugoso atingindo de 4,0 a 8,0 metros de altura e 20,0 e 30,0 cm de diâmetro, com caule um tanto tortuoso, ramificado desde a base até a copa.

Apresentam folhas simples, alternas, pecioladas, de lâmina coriácea, discolor, glabra, fortemente marcada pelas nervuras, compostas com nove a doze pares de folíolos e coloração esverdeada ou amarelada. A figura 5B) é um fruto de uma vagem cilíndrica, com 50 a 80 cm de comprimento e 1,5 a 3 cm de diâmetro com 40 a 120 septos transversais regulares e simétricos onde se abrigam as sementes, As sementes são discos envoltos pela polpa fina de coloração verde-clara, sucosa e agridoce, seu consumo é *in natura* [6], [37].

O habitat natural dessa espécie são matas de igapó, beiras de igarapés, várzeas e lugares úmidos, no entanto pode ser cultivado em terra firme, E por ser nativa, não apresenta altas exigências de cuidados e manejo, apresentando boa produção em sistemas agroecológicos e em consórcios com outras espécies, quando maduro, a parte comestível apresenta coloração esverdeada ou amarelada.

Figura 5: (A) Planta na área de várzea, (B) frutos inteiros, (C) Fruto aberto; (C) sementes removidas do fruto.

Fonte: De Souza et.al (2022).

O número de sementes varia em função do comprimento: com quarenta a 120 divisões no interior do fruto de forma regular e simétrica e igual número de sementes, semelhante a comprimidos, envoltas por pouca polpa fina de coloração verde-clara como apresentado na figura C, sucosa e agridoce de gosto peculiar, o consumo é in natura [6], [36], [38].

Ha estudos com várias espécies do gênero *Cassia*, cujas partes estudadas foram raízes, casca, caule, sementes e folhas. Esses estudos relataram a presença de glicosídeos, flavonoides glicosilados, antronas e derivados de antraceno [5], [39]. No entanto, ainda é escassa em literatura informação sobre a sua composição química, que foram extraídos seus compostos bioativos por técnicas amigáveis do ambiente, como o ultrassom.

Além disso, a disponibilidade dos bioativos desse fruto amazônico e o seu poder em atividades antioxidantes ainda é pouco estudada.

Os benefícios dos frutos são amplamente atribuídos ao acúmulo e biossíntese de amplas categorias de metabolitos secundários, como compostos bioativos, alimentos minimamente processados contendo composição nutricional e compostos bioativos tem atraídos atenção dos seres humanos [22]. Na **tabela 1**, observamos frutos encontrados na região amazônica, em relação com seu nome científico, parte encontrada os compostos bioativos, atividade antioxidante nela existente, forma de extração, e análise de digestibilidade *in vitro.* Assim, foi possível observar que as espécies AB, CB e MM seus estudos sobre a extração de compostos bioativos aplicando ultrassom são escassos, por um lado e por outra, estudos não reportam o ensaio da digestibilidade *in vitro* deles.

Por esta razão, há maior interesse de aprimorar seus estudos como também as grandes empresas e indústrias que lidam com alimentos e/ou material provenientes deles tem se mostrado com maior interesse no desenvolvimento de processos para valorizar os frutos considerados silvestres [16].

Tabela 1: Frutas amazônicas: Técnicas de extração para liberação de compostos bioativos em combinação com análise de digestibilidade in vitro.

Nome Científico	**Nome**	**Parte da Planta**	**Extração**	**Potência Ultrassonica (%)**	**Análise da atividade antioxidante**	**Análise Digestibilidade** *in vitro*	**Ref.**
Mammea americana	Abricó	Cascas	Por solvente	----------	----------	----------	[24]
Euterpe precatória	Açaí	Fruto	Ultrassom de alta energia	0, 20, 40, 60 e 80	DPPH, FRAP, ABTS e Carotenoides	Solução Oral, Gástrica e Intestinal	[3]
Malpighia emarginata	Acerola	polpa	Plasma luminosa de Nitrogênio	----------	DPPH	----------	[40]
Mauritia flexuosa	Buriti	fruto	Ultrassom de alta energia	0, 20, 40, 60 e 80	DPPH, FRAP, ABTS e Carotenoides	solução Oral, Gástrica e Intestinal	[3]
Solanum sessiliflorum	Cubiu	polpa	Extração por solvente, soxhlet	----------	----------	----------	[41]

Ficus subapiculata	Figo amazônica	fruto	Extração assistida por ultrassom e osmose reversa	20, 40 e 80	DPPH, Carotenoides	----------	[42]
Cassia leiandra Banth	Mari-mari	Polpa, Cascas e semente	Acetona e metanol	----------	DPPH e FRAP	----------	[36][43]
Myrciaria dubia	Camu-camu		Água	30	DPPH, ABTS, FRAP	----------	[3], [8], [44]–[47]

..... não observado, nomes científico e comum das espécies AB, CB e MM, forma de extração, parte da planta, análise de atividade antioxidante, ensaio de digestibilidade *in vitro* e formas de extração de compostos bioativos.

2.3. Mapeamento quantitativo de publicações científicas - produção, impacto e inter-relações

Nessa secção será apresentado o mapeamento e avalição do tema do presente trabalho de dissertação a partir dos dados bibliográficos de sua produção cientifica, que descrevem os artigos mais citados da área, os periódicos da areia com maior fator de impacto, os termos e conceitos mais relevantes, as redes de colaboração (autores, países e instituições) e lacunas/oportunidades de pesquisa na área. Foi feito esse mapeamento através de palavras-Chave, ao longo dos últimos 5 anos, coletados na base de dados da Scopus e na Web of Science, em seguida foram tratados em RStúdio e por fim análise bibliometria com bibliometrix por visualização da ferramenta biblioshiny.

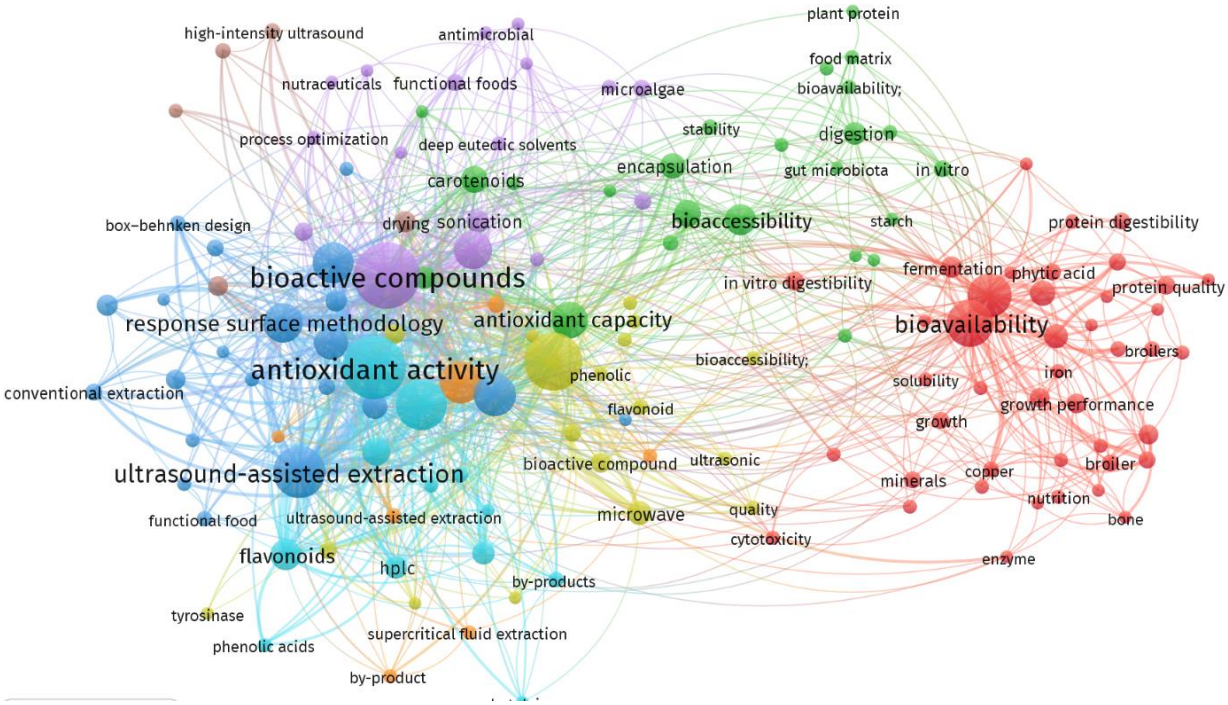
2.3.1. Bibliometria

A bibliometria é um método quantitativo (medição estatística) para mapeamento e avalição de uma areia de pesquisa a partir dos dados bibliométricos de sua produção científica. Além disso, o bibliometrix é uma ferramenta para analisar grandes volumes de dados bibliométricos, como citações, redes de coautoria e padrões de citação [48], [49]. Ele oferece uma variedade de funções e métodos estatísticos para ajudar os pesquisadores a entenderem tendências, identificar padrões e avaliar o impacto de trabalhos científicos em uma determinada área.

A **Figura 6,** representa rede bibliométrica de palavras-chave dos autores em publicações sobre uso do ultrassom, compostos bioativos, antioxidantes e digestibilidade *in vitro*. Com esse mapeamento é visualmente perceptível a forte de rede colaboração de palavras-chave, com maior destaque de compostos bioativos, biodisponibilidade, atividade antioxidante, extração assistida por ultrassom.

Por outro lado, a bioacessibilidade mostrou ser a palavra-chave com maior número de colaborações com um total de 41 palavras inter-relações, destacando – se com palavras-chave como: mineras, digestibilidade de proteínas, fermentação, nutrição, citotoxidade, quantidade de proteínas, ácido cítico, solubilidade, enzimas entre outras. Seguida da capacidade antioxidante, extração assistida por ultrassom.

Figura 6: representa rede bibliométrico de palavras-chave dos autores em publicações sobre uso do ultrassom, compostos bioativos, antioxidantes e digestibilidade.



Bibliometria de palavras-chave dos autores em publicação, seis grupos temáticos onde estão representadas por cores: amarelo, azul, verde, roxo, vermelho, azul celeste e laranja.

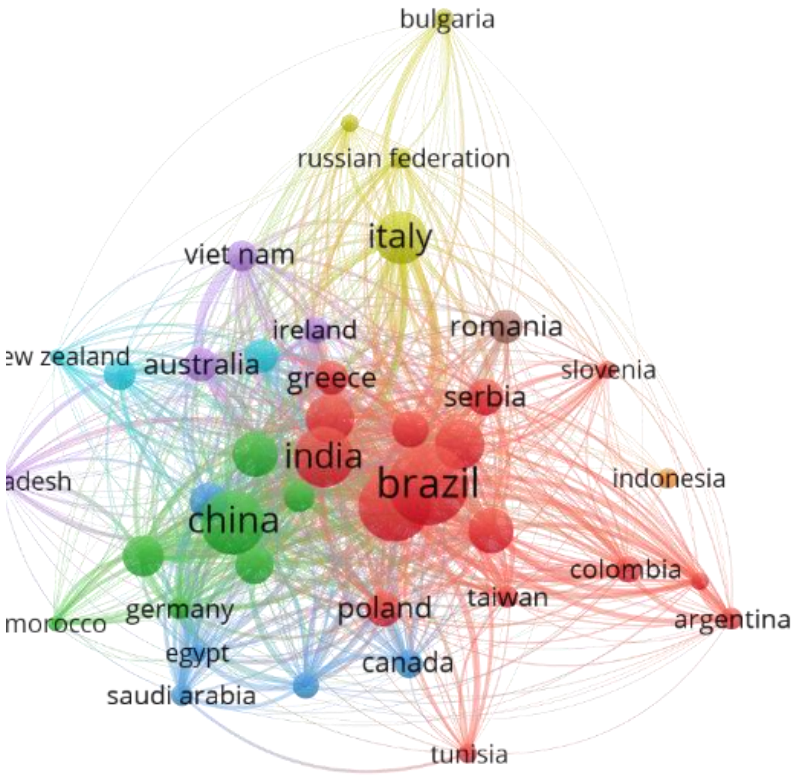
Vale ressaltar que, com esse mapa de redes de palavras-chave, deu uma luz a presente pesquisa pelo fato de observar em literatura o quanto ainda se faz necessário pesquisar sobre o uso do ultrassom de ponteira, e que a digestibilidade *in vitro* combinada ao ensaios antioxidantes e mensurar os compostos bioativos (fase gástrica e eternal) dos frutos amazônicos

(abricó, cubiu e mari-maria) liberados por ultrassom não são reportados em literaura, fazendo assim esse trabalho como promissor no uso e combinação destes métodos e a correlação de Persson e análise de componentes principais [50].

A **Figura 7** fornece uma visualização pelo VOSviewer, abrangendo 26 dos 98 países que foram agrupados em oito clusters interconectados, cada um identificado por uma cor específica (amarelo, azul, verde, roxo, vermelho, azul-celeste e laranja). Este mapeamento por coautoria entre países destaca o nível de colaboração existente na área de estudo, envolvendo temas como o uso do ultrassom, compostos bioativos, atividade antioxidante, capacidade antioxidante, bioacessibilidade e digestibilidade in vitro.

Os nós de maior tamanho representam os países mais produtivos em relação às palavras-chave deste estudo, enquanto as conexões mais espessas e longas indicam países com uma relação de cooperação mais significativa, conforme apresentado na figura. Essa análise oferece uma compreensão visual clara da dinâmica de colaboração entre os países envolvidos nesse campo de pesquisa específico.

Fgura 7: A rede de colaboração de países sobre as palavras-chave.



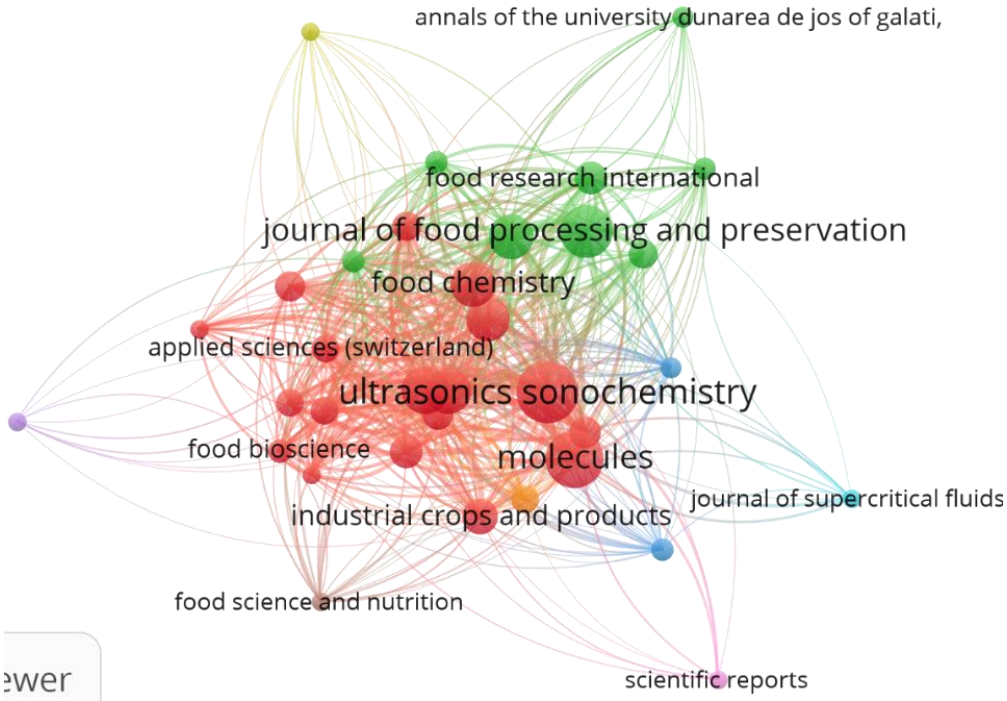
Mapa bibliométrico de principais de Países sobre uso do ultrassom, compostos bioativos, antioxidantes. oito grupos temáticos: amarelo, azul, verde, roxo, vermelho, azul celeste e laranja.

Além disso, observa-se que o Brasil teve uma maior intensidade de conexões totais, com nove, seguido pela China, com um total de sete conexões, enquanto a Indonésia apresentou o menor número de colaborações. Essas evidências demonstram que as redes de colaboração, construídas por meio de metadados e analisadas utilizando o Bibliometrix em conjunto com a visualização do VOSviewer, oferecem uma valiosa ferramenta para mapear a influência global e a relevância de continuar a pesquisa sobre o uso de ultrassom de ponteira para a liberação de compostos bioativos, bem como para avaliar a capacidade antioxidante dos frutos do cerrado amazônico [48], [51].

Por fim, essas análises podem oferecer insights sobre como esses compostos liberados pelo ultrassom podem estar disponíveis para absorção pelo corpo humano, sugerindo possíveis aplicações desses frutos como materiais nutracêuticos em diferentes escalas de produção, seja pequena, média ou grande. Essa abordagem, conforme discutido em referências [48] e [51], representa uma oportunidade promissora para explorar os benefícios potenciais desses recursos naturais e sua aplicação na saúde humana.

Rede de colaboração das maiores revistas indexadas sobre as palavras-chave: uso do ultrassom, antioxidantes e digestibilidade, se apresenta na **Figura 8.**

Figura 8:Rede de colaboração de revistas indexadas pela Scopus e web of Science sobre palavras-chave: ultrassom, antioxidantes, bioacessibilidade, compostos bioativos.



Mapa bibliométrico de principais revistas indexadas sobre uso do ultrassom, compostos bioativos, antioxidantes. Sete grupos temáticos: amarelo, azul, verde, roxo, vermelho, azul celeste e laranja.

Ao analisar as relações das principais revisas indexadas de colaboração em pesquisa, os pesquisadores e acadêmicos serão informados sobre como as informações ao nível da pesquisa são trocadas na colaboração cientifica [52].

Os nós de maior tamanho representam as revistas mais produtivas em relação às palavras-chave deste estudo, enquanto as conexões mais espessas e longas indicam revistas com uma relação de cooperação mais significativa, conforme apresentado na **Figura 8**. Essa análise oferece uma compreensão visual clara da dinâmica de colaboração entre os jornais/revistas envolvidos nesse campo de pesquisa específica.

Observa-se que a sonoquímica ultrassônica apresenta a maior intensidade e total de conexões, com 18, seguida pelo jornal de processamento e preservação de alimentos, com um total de oito conexões. Além disso, há uma conexão significativa entre as revistas moléculas, química alimentar e biociência alimentar com a sonoquímica, o que pode ser atribuído às funcionalidades proporcionadas pelo uso do ultrassom de ponteira [48], [50]–[52]. Essas características destacam a importância e o interesse em pesquisas relacionadas a esse campo específico.

As conexões entre revistas de diferentes áreas da ciência alimentar e da química, especialmente com a sonoquímica, fornecem uma visão abrangente do panorama de pesquisa global. Isso permite visualizar o nível de interesse e o volume de publicações relacionadas a temas específicos, proporcionando uma compreensão mais clara do estado atual e das tendências dentro dessas disciplinas.

2.4.Compostos vegetais e bioatividade

Os compostos bioativos vegetais podem ser extraídos de várias partes da planta, como folhas, flores, frutos, caules e raízes. Juntamente com o desenvolvimento de modernas tecnologias de extração, cada vez mais compostos bioativos de plantas têm mostrado grande potencial de aplicação no setor da indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética, isso levanta uma grande preocupação da comunidade científica em procurar disseminar cada vez mais informação dessa natureza [53],[54].

Os alimentos funcionais e agentes terapêuticos são obtidos direta ou indiretamente de diferentes fontes naturais [1], [13]. O valor terapêutico dos alimentos funcionais depende da presença de compostos biologicamente ativos. Esses compostos bioativos podem oferecer vários benefícios à saúde além do valor nutricional básico de um produto alimentício [9], [33],

[55].], demostrando a importância de analisar os componentes químicos das plantas como odores, pigmentos, antioxidantes, entre outras.

A biodisponibilidade refere-se à medida em que um medicamento ou substância ativa é absorvido pelo organismo e se torna disponível para exercer seus efeitos farmacológicos [56], [57]. Em outras palavras, refere-se à fração de qualquer nutriente ingerido que tem o potencial para suprir demandas fisiológicas em tecidos-alvo. Ou seja, é a fracção da dose administrada que alcança a circulação sistêmica.

Quando um medicamento é administrado por via oral, por exemplo, ele precisa passar por diversas etapas antes de ser absorvido no trato gastrointestinal e entrar na corrente sanguínea. Durante esse processo, ele pode ser afetado por fatores como a forma farmacêutica do medicamento, interações com alimentos ou outros medicamentos, pH do estômago, metabolismo de primeira passagem no fígado, entre outros [56], [58].

É importante ressaltar que a biodisponibilidade não se limita apenas a medicamentos administrados de via oral, mas também as obtidas vias sucos naturais, entre outras. A biodisponibilidade é um parâmetro essencial na avaliação da eficácia e segurança de alimento, pois está diretamente relacionada à quantidade de substância ativa que está disponível para atingir seu alvo no organismo [103, 104].

Por essa razão, os estudos de biodisponibilidade são uma etapa importante no desenvolvimento e na avaliação de quantificar os compostos bioativos de sucos por ingerir. Isso mostra necessidade desta pesquisa ter feito a simulação *in vitro* da digestibilidade, dado que o ultrassom é uma técnica ideal que pode aumentar substancialmente a bioatividade de diferentes substâncias.

2.4.1. Atividade antioxidante

Antioxidante é definido como qualquer substância que, presente em baixas concentrações, quando comparada a do substrato oxidável, atrasa ou inibe a oxidação desse substrato de maneira eficaz [59]. Os antioxidantes combatem os radicais livres liberados nos processos biológicos do corpo que tendem a lesar moléculas de suma importância para o bom funcionamento do organismo. Dentre os antioxidantes naturais, se destacam o ácido ascórbicos, a vitamina E, o ß-caroteno e os compostos fenólicos [59], [60].

O corpo humano pode produzir radicais livres centrados no oxigênio e outras espécies reativas de oxigênio como subprodutos durante processos fisiológicos e bioquímicos. A

superprodução desses radicais livres causa danos oxidativo à biomolécula (por exemplo, lipídios, proteínas e DNA), levando a doenças crônicas, por exemplo, câncer, artrite, aterosclerose, doença de Alzheimer e diabetes [73]. Por outro lado, a peroxidacão lipídica é uma das principais razões para a deterioração de produtos alimentícios.

Os antioxidantes atuam em diferentes níveis na proteção dos organismos, impedindo a formação dos radicais livres, pela inibição das reações em cadeia; interceptando aqueles radicais gerados por fontes endógenas; impedindo o ataque sobre os lipídeos, as proteínas e as cadeias do DNA, evitando perde de integridade celular ou reparando as lesões causadas pelos próprios radicais [3], [60].

Esses compostos melhoram o sistema defensivo no corpo humano contra infecções e lesões, eles são geralmente encontrados como derivados glicosilados ou como sal com sulfatos inorgânicos ou ácidos orgânicos [61], eles desempenham um papel fundamental devido à presença de constituintes hidroxila e sua natureza aromática que os permitem atuar como agentes redutores, doadores de hidrogênio e supressores de oxigênio singleto. Além disso, eles têm um potencial de quelação de metais.[20],[60], [62].

Em função do mecanismo de ação, os antioxidantes podem ser divididos em: primários e secundários. Estes últimos englobam os sinergistas, os removedores de oxigênio, os biológicos, os agentes quelantes e os mistos. Sintético ou naturais, os antioxidantes devem ter comprovada sua segurança para a saúde antes de serem utilizados em alimentos, produtos farmacêuticos ou cosméticos. Dentre os antioxidantes naturais, se destacam o ácido ascórbicos, a vitamina E, o ß-caroteno e os compostos fenólicos [61].

Antioxidantes sintéticos como BHT (2,6-bis(1,1-dimethylethyl) -4-methylphenol), BHA (2-tert-Butyl-4-hydroxyanisole e 3-tert-butyl-4-hydroxyanisole (mixture), e TBHQ (2-(1,1-Dimethylethyl)-1,4-benzenediol) são geralmente usados para superar esse problema. A maioria desses antioxidantes sintéticos tem efeitos tóxicos e cancerígenos na saúde humana [74]. Vários relatórios [74–76] revelam que compostos naturais são capazes de proteger contra danos mediados por espécies reativas de oxigenio (EROs). Portanto, compostos naturais podem ter aplicação potencial na prevenção e cura de doenças [73,76].

Entre os compostos naturais com notável atividade antioxidantes destacam-se os ácidos fenólicos e seus derivados, os flavonoides, tocofenóis, fosfolipídios, aminoácidos, ácido fítico, ácido ascórbico, pigmentos [3], [31]. Além disso, antioxidantes naturais retardam a peroxidação

lipídica aos antioxidantes sintéticos em uso [32]. Sendo assim, os compostos fenólicos, presentes em plantas, são definidos como metabólicos secundários derivados das vias do ácido chiquimico e da fenilpropanoidica. Também, são chamadas de substâncias que possuem um anel aromático com um ou mais grupos hidroxilas.

Os principais grupos fenólicos são os flavonoides, ácidos fenólicos e polifenóis (taninos). Os flavonoides são classificados em flavonas, flavonóis (catequinas), dihidroflavonaois, isoflavoides, decorre do fato de atuam como doadoras de hidrogênio e em quelar metais, reduzindo o risco de patologias decorrentes da ação destes [31], [33], [63].

Segundo Mar e colaboradores [32], os alimentos de origem vegetal das mais variedades espécies são fontes de diversos compostos que apresentam atividades antioxidantes natural. Os radicais livres, ou espécies reativas de oxigênio (ERO), são moléculas, átomos ou íons contendo eletros em número ímpar ou quais possuem spin não-emparelhados, que vibram incessantemente, tornando-os muito reativos [64].

Ocorrem naturalmente como resultado de processos metabólicos dos organismos vivos, como a respiração celular, geradora de energia essencial a vida. Embora uteis ao organismo humano, podem causar distúrbios quando em excesso, levando ao stress oxidativo [36]. aumentando os riscos para doenças crônico-degenerativas como a catarata e o envelhecimento precoce.

Por isso, as metodologias utilizadas para avaliar atividade antioxidantes de compostos são diversas e incluem ABTS (2,2-azino-bis-(3-etil-benzotiazina-6-ácido sulfônico)), DPPH (2,2-difenil-1- picrilidrazil), FRAP (poder antioxidante de redução do ferro), auto oxidação do sistema ß-caroteno/ácido linoleico, ORAC (Capacidade de absorção do radical oxigênio), dentre outras [47], [65].

A análise de atividade antioxidante pelo método de sequestro de radiais livres DPPH é largamente utilizada por se tratar de um ensaio simples e de alta sensibilidade. O DPPH se constitui um radical livre, sendo um produto adquirido, pronto para o uso. Enquanto o ABTS é obtido em momento anterior (entre 12 e 16 horas) ao seu uso e sua formação demanda manipulação de compostos. A produção do ABTS se dá por reação enzimática ou química [39], [66].

Os estudos científicos atualmente centram-se boa parte deles em pesquisar o papel dos antioxidantes na prevenção de doenças, se multiplicam em escala exponencial e sugerem que o binômio “alimentação-antioxidantes” desempenham papel fundamental no crescimento ou redução de problemas cardiovasculares (incluindo a precursora hipertensão arterial).

Além disso, vários tipos de câncer, danos causados às moléculas de DNA (ácido desoxirribonucleico), envelhecimento, patologias como o mal de Azheimer, o diabetes, a artrite reumatoide, síndrome metabólica e processos neurodegenerativos [47].

Outrossim, é relevante o papel dos antioxidantes impedindo a oxidação das lipoproteínas de baixa densidade, retratando o surgimento e/ou progressão de patologias como a aterosclerose, o acidente vascular cereal (AVC) entre outras [67]–[69]. Por esse motivo, falar sobre compostos bioativos em frutas inseridas no bioma amazônico é importante.

Os alimentos vegetais não processados os antioxidantes estão presentes naturalmente, conferindo-lhes proteção contra o estresse oxidativo. Antioxidantes presentes nos vegetais exercem efeitos benéficos aos organismos como a capacidade de sequestrar os radicais livres. Dentre os antioxidantes naturais, as PANC's do cerado amazônico tem bastante, e processar sucos pode ajudar o conhecimento difundido de frutas do rico bioma amazônico.

Estudos sobre plantas e fixos têm sido desenvolvidos com intuito de busca em compostos ativos naturais, especialmente compostos capazes de atuar como os antioxidantes, por exemplo, vitamina C e fito constituintes como polifenóis e carotenoides [20], [70].

Alguns dos principais frutos da Amazônia são considerados plantas alimentícias não convencionais (PANCs), dentre vários podemos destacar os seguintes: açaí, graviola, taperebá, cajá, murici, cupuaçu, umbu, camu-camu, bacuri, jaca, acerola, maracujá, abacaxi, umbuzeiro, e pitanga [70], [71]. Esses frutos são ricos em nutrientes essenciais, como vitaminas C e B6, ácido fólico, cálcio, ferro, potássio, magnésio, fibras e aminoácidos [24], [29].

Além dos nutrientes, os frutos amazônicos também contêm compostos bioativos, como flavonoides, carotenoides, fitosteróis, ácidos graxos e ácidos orgânicos, que têm propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias, antimicrobianas, antivirais e antineoplásicas. Assim como pesquisas tem sido feitas nas PANCs amazônicas mais conhecidas nos últimos anos, busca-se explorar também outras espécies menos populares como por exemplo AB, CB e MM.

2.4.2. Técnicas convencionais de obtenção de compostos bioativos

Os métodos tradicionais de extração incluem extração por decocção, por soxhlet, por solvente, por destilação a vapor, por alta pressão hidrostática, processo de campo elétrico de pulso, processo de alta pressão, entre outros [16],[72]. Dentre todas, a extração com solventes é um dos processos mais utilizados para obtenção de compostos bioativos, onde um solvente atua na estrutura celular vegetal removendo a substância de interesse [73], [74].].

Há também a combinação de mais de um método, como homogeneização do vegetal com o solvente, depois centrifugação para separação de fases e a partir daqui pode-se adicionar solventes específicos para obtenção do grupo de substâncias desejados ou realizar destilação, para purificação do produto [29], [75].

Nesta perspectiva, interesse em usar técnicas que sejam menos dispendiosas e econômicas, tem vindo ganhar destaque nos últimos anos. Assim, pesquisas aprofundadas de métodos de extração que sejam: i) mais seguras, ii) ecológicos e econômicos, particularmente no desenvolvimento de novas tecnologias para atender aos requisitos de custos de energia e redução de emissões de gases de efeito estufa, é fundamental.

2.5. Ultrassom

2.5.1. Técnica de sonicação

A técnica de sonicação consiste em produzir ondas em frequências acima da faixa de audição humana (20 kHz). Quando as ondas ultrassônicas se dispersam em um líquido, bolhas oscilam e colapsam, processo chamado de cavitação, causando efeitos térmicos, mecânicos e químicos [76]–[78]. Os impactos físicos causados pela quebra da bolha acústica incluem ondas de choque extremas e cisalhamento. Esta forma de efeito mecânico é conhecida por enfraquecer e danificar as membranas celulares biológicas [79].

O ultrassom foi definido como a frequência superior a 20 kHz, que é o limite para a detecção auditiva humana [80]. A fonte de saída do ultrassom é geralmente um corpo vibratório, que faz o meio circundante vibrar, em seguida, a onda de ultrassom transfere energia para outras partículas vizinhas. Os principais parâmetros físicos que desempenham papeis vitais no processo de ultrassom incluem potência, frequência e amplitude.

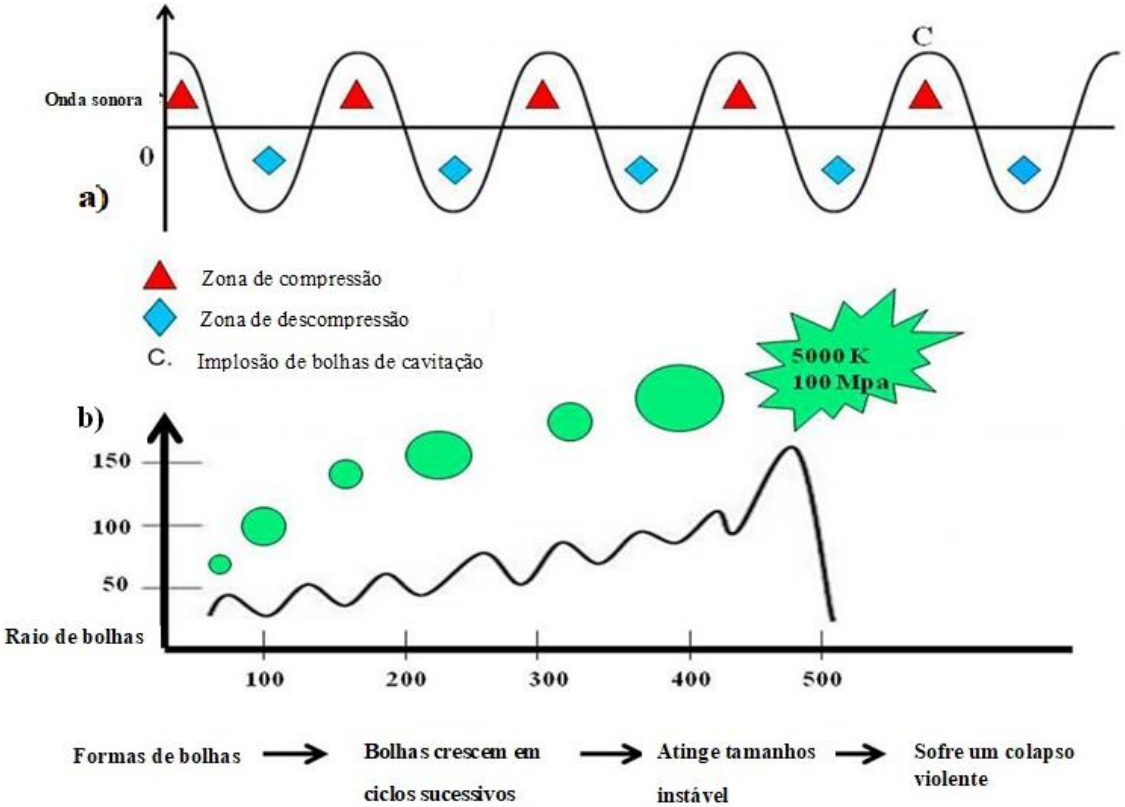
O nível de energia do qual o ultrassom se propaga através do meio pode ser expresso como potência do Ultrassom mensurável em (W), intensidade do ultrassom mensurável em (W/cm^2) ou densidade de energia acústica mensurável (W/cm^3 ou W/mL). Além disso, a densidade de energia acústica tem sido amplamente utilizada na avaliação dos níveis de potência ou ultrassom [81]–[83].

Trabalhos relevantes foram publicados sobre compostos bioativos com ultrassom de culturas comerciais nos últimos anos [84]. No entanto, o mecanismo de extração com o ultrassom raramente foi estudado nestas espécies. Ultrassom pode produzir cavitação, vibração, esmagamento, mistura e outros efeitos abrangentes.

Esses efeitos podem quebrar a parede celular e aplicar com sucesso nos processos de extração de componentes de produtos naturais, porém, a frequência efetiva do ultrassom varia de 20 kHz a 50 kHz [83], [84].

Os feitos da cavitação, efeitos térmicos e ações mecânicas têm uma influência relevante sobre o processo de extração por ultrassom como pode-se ilustrar na (**Figura 6 a)** [85], que descreve sobre os efeitos que levam à destruição da parede celular, redução do tamanho das partículas e aumento da taxa de reação através da transferência de massa da parede celular sem causar alterações na estrutura e a função dos extratos [85], [86].

Figura 9: Esquema de Processo físico de cavitação ultrassónica. **(a)** cavitação por onda sonoro; **(b)** cavitação por raio da bolha



O esquema mostra em **(a)** - as zonas de compreensão e descompensão, C – implosão de bolhas de cavitação, formas e **(b) –** formas de bolhas, bolhas crescem em ciclos sucessivos, atingem tamanhas e no final sofrem colapso violente.

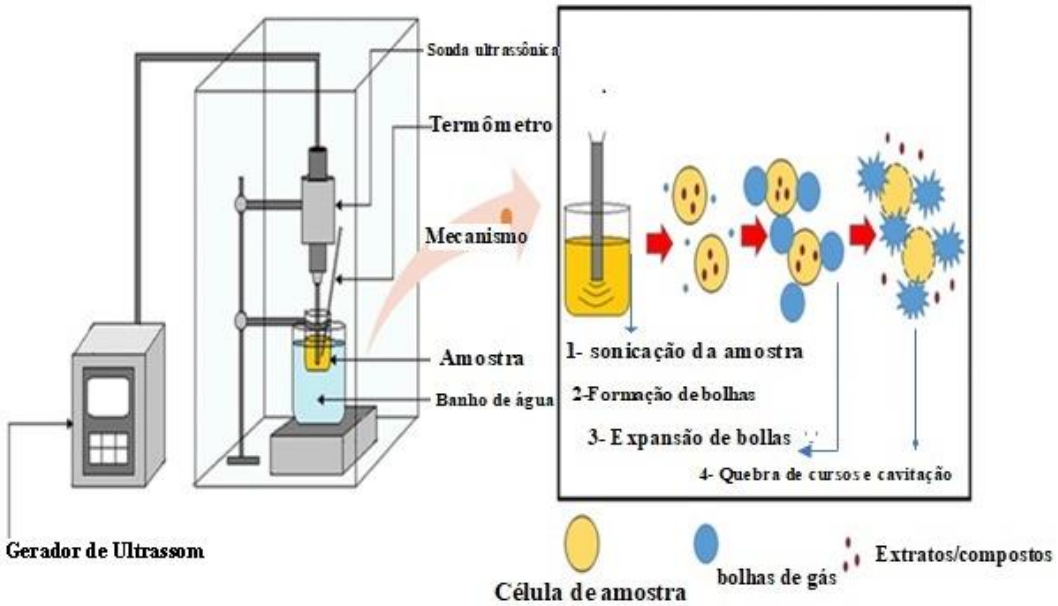
Fonte: Adaptado pelo autor (2024).

No entanto, **(Figura 9-b),** as bolhas continuam crescendo até atingir seu valor crítico, altas temperaturas (5000 K) e altas pressões (100 Mpa) serão geradas na zona de cavitação [74]. Este tipo de cavitação, denominada "cavitação transitória", produz forças de cisalhamento e turbulência no momento do colapso [78].

O processo da cavitação ultrassónica envolve a propagação de uma onda de pressão ultrassónica que vibra longitudinalmente no meio líquido. Esta variação de pressão produz implosões e explosões periódicas, que fazem com que o líquido seja esticado e comprimido [87]–[89]. Esta atividade repetitiva cria bolhas de ar que formam e desaparecem rápida e sistematicamente.

Por causa do efeito de redução contínua (compressão) e intensificação cíclica (rarefacção), as bolhas de cavitação aumentaram de tamanho à medida que a frequência dos pulsos de ondas sonoras aumentava, esta peculiaridade é conhecida como" cavitação estável" [74], [90], como ilustra a **(Figura 10)**.

Figura 10: Esquema sobre processo de sonicação, implosões e explosões periódicas de cavitação por ondas.



A figura ilustra o gerador de ultrassom de ponteira, sonda ultrassônica, termômetro, mecanismo de colapso da amostra em béquer, amostra em banho de água, célula de amostra, bolhas de gás de extratos e ou compostos bioativos liberados, formação e explosão de bolsas e quebra de cursos e cavitação.

Fonte: Wen et al, (2021).

Para garantir o sucesso da aplicação do ultrassom de alta ou baixa energia é importante compreender os efeitos das variáveis de processos sobre ele. Estes parâmetros devem ser detalhados para se determinar como eles influenciam diretamente a eficiência do processo.

O rendimento de extração tem que ser a prioridade, mas também deve-se considerar os fatores como o desempenho ecológico e uso energia limpa. Os fatores incluem principalmente o projeto de um sistema, parâmetros do processo de extração, consumo de eletricidade, tipo de solvente e tamanhos de partícula da matriz, entre outros. Esses fatores foram discutidos e revisados por outros autores [42], [91], [92]. Para obter uma operação eficaz da (UAE) é fundamental considerar os parâmetros do processo, como frequência, potência ou intensidade ultrassônica, amplitude, tempo e temperatura.

No entanto, à medida que a frequência ou intensidade do ultrassom aumenta, as bolhas e cavitação líquido diminuíam gradualmente [83], [84], [93]. A alta frequência suprime o ciclo de compressão-rarefação, que é mais difícil de induzir o crescimento de bolhas de cavitação devido ao curto período. Além disso, a baixa frequência pode afetar a formação de bolhas de cavitação transiente [93]. O tamanho da bolha de cavitação e a transferência de massa estão relacionados a seleção da frequência [94].

Assim, a escolha de frequência adequada é a importante para a extração com ultrassom. Além disso, alguns estudos indicaram que a alta amplitude causa erosão da sonda e reduz a formação de cavitação [55], [58], [95]. E notável que a alta amplitude pode causar agitação líquida em vez de cavitação, portanto, a amplitude deve ser otimizada no processo de extração assistida por ultrassom.

É necessário otimizar adequadamente o tipo de solvente e o tamanho da partícula da matriz, que são parâmetros importantes [82], [83]. A escolha do solvente mais adequado para extrair os analitos da matriz da amostra, sendo que é uma etapa fundamental da extração com ultrassom. Os fatores que afetam a eficiência da extração por ultrassom incluem o tipo de solvente, a quantidade concentração, a proporção de solvente e o soluto. Esses fatores contribuem para a transmissão da energia ultrassônica [56], [96].

A cavitação é facilmente afetada pelas propriedades físicas do solvente (tensão superficial, viscosidade, pressão e vapor) [37], [54]. Por exemplo, a pressão de vapor e a tensão superficial são dois fatores chave que afetam a intensidade da cavitação, a intensidade da cavitação diminui com o aumento da pressão de vapor e da tensão e da tensão superficial normalmente.

Na maioria dos casos, à água é usada como solvente durante o processo ultrassónico. Além do etanol, metanol, hexano que também são usados na extração, sendo que na maioria dos casos o etanol é o principal solvente usado para extrair compostos bioativos.

Por outro lado, a cavitação e aumentada em temperaturas de extração mais baixas, mas altas temperaturas podem levar ao rompimento da interação do solvente e da matriz. No entanto, a alta temperatura também aumenta as taxas de difusão do solvente [97]. Por conseguinte, para otimizar a extração, é necessário manter a temperatura do solvente dentro de uma escala pré-definida e realizar a extração dentro de um período apropriado. Embora um tempo de extração prolongado aumente o rendimento da operação, também pode produzir alterações indesejadas nos compostos extraídos. O rendimento da extração também pode ser afetado pelo tamanho das partículas da matriz, devido ao fato de que a extração está relacionada à superfície exposta e ao comprimento do caminho de migração molecular [97], [98].

Otimização do projeto do reator também é essencial para um bom funcionamento da UAE. Logo, deve-se calcular o tamanho ideal do reator e as posições dos elementos associados ao transdutor, de modo a obter a maior transferência de energia para o fluído [99].

Para obter o efeito de cavitação desejado, a escolha ideal da frequência e intensidade do ultrassom também deve ser considerada. Gonzalez Centano e colaboradores [100], [101]. extraíram fenóis do bagaço em cana de açúcar e descobriram que 40kHz era o mais eficaz.

O ultrassom de alta potência pode ser aplicado no processamento de alimentos com objetivos diferentes, tais como promover modificações estruturais nos produtos alimentares ou nos ingredientes, aumentar as operações de unidade de transferência de calor ou massa, promover a inativação ou sensibilização microbianas, acelerar reações químicas e bioquímicas, inativar ou ativar enzimas [102]. entre outras. O foco do presente trabalho é o seu uso na extração de compostos bioativos, pois a cavitação leva a um aumento de pressão dentro das células vegetais, que rompe o tecido de dentro para fora e libera os compostos, aumentando as taxas de transferência de massa no processo.[40], [87], [92], [96].

Devido a isso, o ultrassom é considerado uma técnica verde de obtenção de bioativos pois gera um maior rendimento, além de menor tempo e energia gastos na extração, operação mais fácil e menor custo quando comparado a outros métodos modernos[40],[103]. Estudos relatam que sua irradiação tem as vantagens de melhorar o transporte de massa, desprendimento de bolhas de catalisadores e superfícies de eletrodos, desgaseificação eficiente e efeito de limpeza [73], [103].

Além disso, o uso do ultrassom pode reduzir o uso de reagentes químicos, minimizar o desperdício de materiais, reduzir ou eliminar a necessidade de aquecimento, acelerar a velocidade de reação e aumentar a seletividade e a sensibilidade [24], [73]. Por isso, a utilização do ultrassom tem sido cada vez mais considerada como uma importante ferramenta para a extração de compostos bioativos de frutas e outras fontes naturais, bem como para síntese de compostos orgânicos e inorgânicos [24].

O princípio da influência da amplitude/potência ultrassônica na extração de componentes em sucos de frutas é o uso de ondas ultrassônicas de alta frequência para extrair os componentes desejados de uma solução [16][42], [63]. As ondas são produzidas por um transdutor que as lança na solução. O objetivo é usar a energia das ondas para obter os componentes desejados, tais como polifenóis, vitaminas e outros, sem danificá-los [73], [16].

O uso do ultrassom possibilita o desenvolvimento de novos métodos de síntese, através da reação em meio aquoso, aumentando a eficiência, reduzindo a toxicidade, a poluição e o uso de solventes orgânicos [24], [73]. Por exemplo, vários métodos de síntese que necessitam de solventes orgânicos podem ser realizados em meio aquoso com o uso de ultrassom.

Além disso, o uso de ultrassom pode também ser usado para suavizar as reações de oxidação-redução, ajudando assim a preservar os meios aquosos [104]. Assim, o uso de ultrassom tem sido uma técnica multidisciplinar pois tem se mostrado uma ferramenta extremamente poderosa para promover o desenvolvimento sustentável.

Outrossim, é considerado um processo eficiente, pois atende aos requisitos da Administração de Alimentos e Medicamentos para uma redução de células microbianas em sucos de frutas [73], [104]. A sua natureza "não térmica" também minimiza os efeitos adversos do calor nas características organolépticas e nutricionais do produto alimentar[105].

Além de todas essas características, é considerada uma tecnologia "verde" porque envolve energia saudável e não requer nenhum produto químico adicional ou, em algumas exceções, uma quantidade mínima. É uma técnica boa, diferente daquelas que podem ser consideradas convencionais (extração por solvente, maceração, por soxhlet, decocção, destilação a vapor) na extração compostos bioativos como no processamento, seletividade, consumo de energia e tempo, gasto de reagente [79,80].

Em um trabalho com o figo (*Ficus subapiculata*, Moraceae) [42], notou-se que o ultrassom influenciou na luminosidade da cor de acordo com os parâmetros L* (claro/escuro) e *a** (vermelho/verde), além disso foram identificados os compostos α-glicose, β -glicose,

frutose, cítrico, málico, químico e p-ácidos hidroxibenzóicos. Açaí (*Euterpe sp.*) e buriti (*Mauritia flexuosa*) foram avaliados em cinco níveis de densidade de energia e notou-se que o ultrassom influenciou nos atributos da sua capacidade antioxidante, e maior na concentração de compostos bioativos, com maior densidade de energia ultrassônica [3], [106].

Para a própolis resinosa coletada pelas abelhas (*Apis mellifera* L.) foi observado a presença de β-caroteno, quando maior a potência sonicada foi de 60% [107][102], [108]–[110].O uso do ultrassom possibilita o desenvolvimento de novos métodos de síntese, através da reação em meio aquoso, aumentando a eficiência, reduzindo a toxicidade, a poluição e o uso de solventes orgânicos [15], [111], [112]. Pode também ser usado para suavizar as reações de oxidação-redução, ajudando assim a preservar as amostras [13], [24], [111].

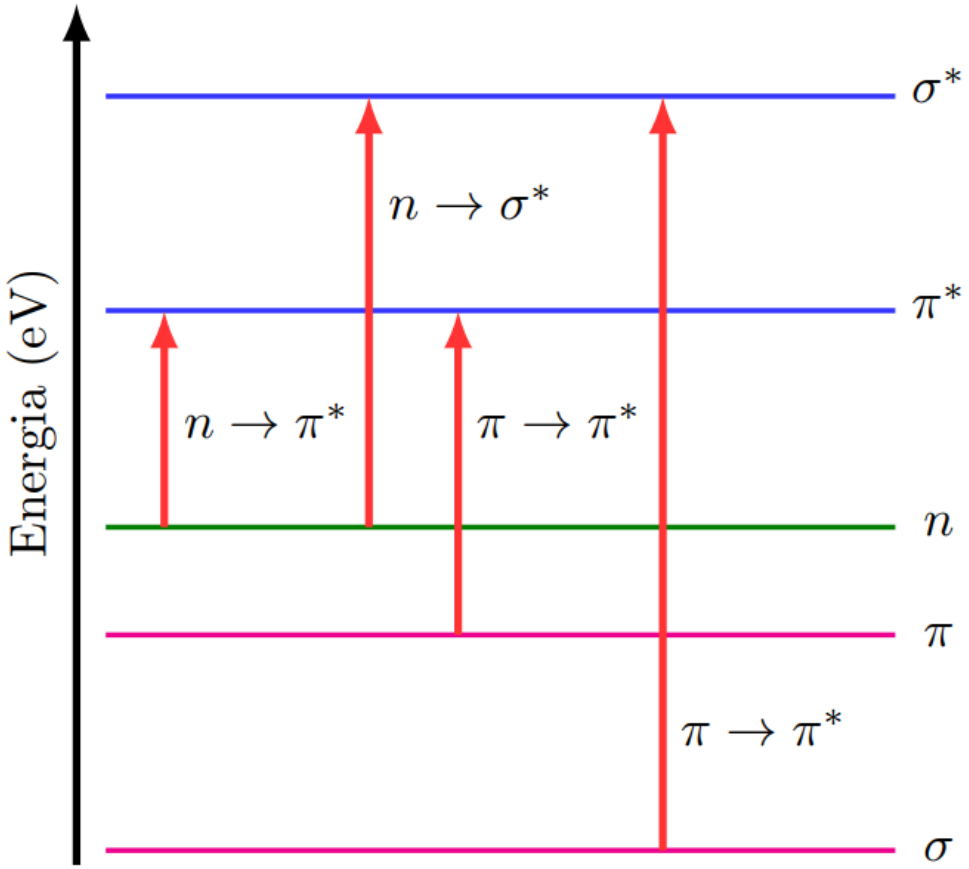
Assim, o uso de ultrassom tem sido uma técnica multidisciplinar pois tem se mostrado uma ferramenta extremamente poderosa para promover o desenvolvimento sustentável. Por esses motivos, a presente pesquisa visa fundamentalmente usar a técnica para otimizar a obtenção dos compostos dos sucos de AB, CB e MM e analisar sua composição química e potenciais antioxidantes dos compostos bioativos presentes neles.

2.6. **Espectroscopia no Ultravioleta**

A maioria das moléculas orgânicas e dos grupos funcionais nas regiões de espectro eletromagnético que chamamos de ultravioleta (UV) e visível (vis) são as regiões onde os comprimentos de onda vão de 190 a 800 nm respectivamente. Em geral, a transição mais provável é do orbital ocupado de menor energia, ou seja, mais alto estado ocupado (HOMO) e o mais baixo estado desocupado, ou seja, para orbital desocupado de menor energia (LUMO) [113].

Em compostos orgânicos as transições eletrônicas acontecem entre as orbitais moleculares ligantes (σ e π), antiligantes (σ* e π*) e não-ligantes (n) como ilustrado na **Figura 11.** Análises por UV-vis em amostras de matriz vegetal (sucos de frutas, polpa) estão sendo cada vez mais utilizados em diversas pesquisas, corroborando seus resultados de forma concisa na identificação das transições eletrônicas da matriz do material, aprimorando cada vez mais a compressão em relação as outras técnicas de análise espectroscopias como FTIR, RMN em relação as propriedades eletrônicas.

Figura 11: Representação esquemática de transições eletrônicas nos orbitais Homo e Lumo.



Transições eletrônicas, das absorções por UV-Vis transições σ → σ*, n→σ* π →π*; π → σ

Fonte: adaptado pelo Autor, 2024.

Os flavonoides por exemplo tem bandas de absorção na região do UV-Vis devido a transição eletrônica envolvendo os orbitais π (pi) e π* (pi-estrela),a natureza especifica dessas transições depende da estrutura molecular do flavonoide em questão[113][114], [115].

Por conseguinte, foram realizadas análises por essa fermenta UV-vis em sucos de AB, CB e MM com intuito de verificar as regiões de absorções dos principais grupos compostos caraterísticos de sucos (flavonoides, carotenos, vitaminas) e por via desta, poder-se identificar as regiões das transições eletrônicas.

2.7. Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier com módulo ATR (ATR-FTIR).

A técnica de FTIR permite a análise de interações moleculares com a luz infravermelha. O módulo ATR é uma modificação do FTIR que utiliza a reflexão total atenuada para analisar amostras diretamente na superfície, sem a necessidade de preparação complexa. É uma técnica de caracterização utilizada na análise e identificação de materiais orgânicos e inorgânicos, baseada nas vibrações dos átomos de uma molécula, sendo que a radiação atinge à amostra no infravermelho ao ser absorvida é transformada em energia vibracional e rotacional, é feito esse processo na faixa de 400 à 4000 cm^{-1} em unidade de número de onda para caracterização de compostos de interesse [116]–[119].

Para que a absorção da radiação infravermelha ocorra, é necessário que as ligações apresentem momentos de dipolo que variam ao longo do tempo, ajustando-se à mesma frequência da onda incidente [120]. Com isso, há que notar o seguinte: quanto maior a quantidade de átomos e a complexidade da estrutura molecular, mais modos de vibração o sistema apresenta. Nesse caso, para cada estrutura, o espectro vibracional é caraterístico em cada sistema específico da matriz [113]. Assim, como aas plantas e seus fixos (raiz, caule, flor, fruto) contém neles variedades de compostos, a análise por FTIR pode, no entanto, identificar algumas regiões que caracterizam certos grupos funcionais.

A técnica desempenha um papel crucial na análise de amostras vegetais, como sucos de frutas, proporcionando informações detalhadas sobre sua composição. Seu constante desenvolvimento e aplicação em estudos científicos contribuem significativamente para avanço do conhecimento e para a melhoria das técnicas analíticas em diversos campos. Além disso, pode ser aplicada em estudos multicomponentes, podendo deste modo ser combinada como outras como cromatografia e espectroscopia de massa para abordagens mais abrangentes e integradas na caracterização de amostras complexas [116], [118].

3. OBJETIVOS

3.1. Gerais

Avaliar o rendimento de compostos bioativos do suco dos frutos de Abricó, Cubiu e Mari-mari pela técnica de ultrassom.

3.2. Específicos

- Obter sucos a partir da polpa dos frutos Abricó, Cubiu e Mari-mari.
- Otimizar as condições do ultrassom nos sucos de AB, CB e MM, variando potência ultrassonica mantendo parâmetros como tempo, temperatura e concentração;
- Determinar pH, sólidos solúveis, acidez e parâmetros de cor dos sucos antes e após o efeito do ultrassom a digestibilidade *in vitro*;
- Determinar a composição centesimal e de minerais do suco liofilizado;
- Determinar o teor de fenólicos totais nos sucos das espécies AB, CB e MM pelo método de Folin-Ciocalteu;
- Analisar a atividade antioxidante dos sucos pelos métodos DPPH, ABTS, FRAP e Carotenoides a partir do tratamento do ultrassom antes e após a digestibilidade *in vitro*;
- Correlacionar os ensaios antioxidantes com as diferentes potências ultrassônica a fim de compreender qual entre eles tem afinidade;
- Identificar por espectroscopia de absorção molecular na região UV-Vis as principais transições eletrônicas;
- Realizar caracterização química das amostras de sucos liofilizados e sonicados por meio de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier - FTIR.

4. CAPÍTULO IV: METODOLOGIA

4.1.Procedimentos Experimental

Os procedimentos metodológicos do presente trabalho foram ilustrados em resumo na (**Figura 12**). Estes foram realizados desde a extração da polpa dos frutos AB, CB e MM até as análises de caracterização físico-química, análise da atividade antioxidante e caracterização pelas técnicas de espectroscopia ultravioleta visível (UV-vis), infravermelho por transformada de Fourier e digestibilidade *in vitro*.

Figura 12: Preparo das amostras da polpa do fruto AB, CB e MM e o processo de extração das substâncias pela técnica de ultrassom, seguindo das análises de antioxidantes e caraterizações (UV-vis e FTIR-ATR), análises de componentes principais (PCA).

Fonte: Adptado pelo autor, 2023.

4.2. Coleta e Preparo das Amostras Vegetais

Os frutos utilizados nesse estudo, foram adquiridos na feira do Produtor, localizada na Av. Autaz Mirim - Cidade Nova, Manaus - AM, 69099-045. A lavagem dos frutos foi realizada com água potável por imersão, seguido da retirada de sujeira, poeira e detritos superficiais.

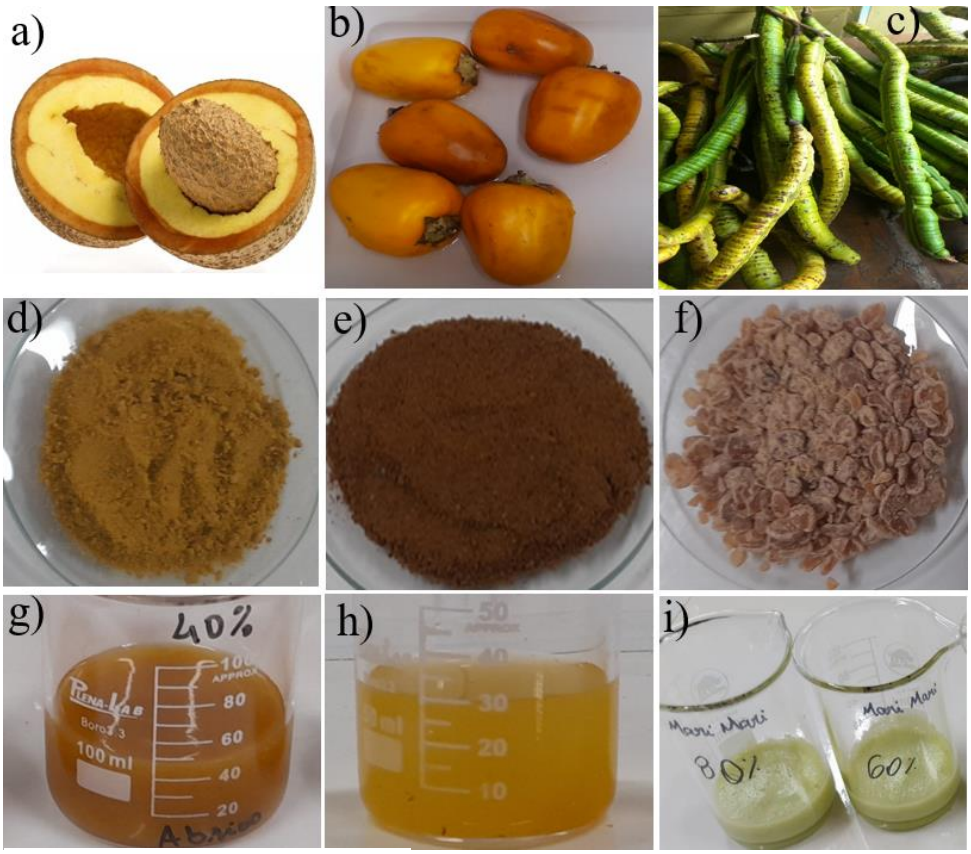
A sanitização foi feita por imersão de hipoclorito de sódio durante 10 minutos, seguida de enxágue em água corrente.

Os frutos foram descascados e pesados em balança analítica, as amostras foram cortadas e processados no liquidificador higienizado (Oster Super BLSTMG-BR8). As polpas foram peneiradas e acondicionadas em geladeira a 10º C.

A polpa foi processada por liofilização, por se tratar de um processo que preserva as propriedades nutricionais e bioquímicas dos componentes da amostra liofilizada, uma vez que utiliza o princípio de sublimação da água contida nos alimentos, em seguida preparou-se os sucos em um volume de 200 mL (1:2 g/m L polpa/água) todas as análises foram feitas em triplicata.

Os frutos, polpas liofilizadas e os sucos utilizados na pesquísa são apresentados na **figura 13.** O fruto de AB fruto abricó (**a**), Cubiu (**b**) e MM (**c**), suco liofilizado do Abricó (**d**), do Cubiu (**e**) e Mari – mari (**f**), Sucos de Abricó (**g**), Cubiu (**h**), e Mari-mari (**i**), respetivamente.

Figura 13: Frutos Abricó **(a)**, Cubiu **(b)** e MM **(c)**, suco liofilizado do Abricó **(d)**, do Cubiu **(e)** e Mari-mari **(f)**, Sucos de Abricó **(g)**, Cubiu **(h)**, e Mari-mari **(i)**.



Fonte: Autor, 2023.

4.3. Processamento dos sucos por Ultrassom

Os sucos de cada espécie foram divididos em cinco grupos de tratamentos: amostra sem tratamento, tratamento a 20% ou 150 W (**US20)**, tratamento a 40% ou 300 W **(US40)**, tratamento a 60% ou 450 W **(US60)** e tratamento a 80% ou 600 W **(US80)** respetivamente.

As amostras oram submetidas à homogeneização ultrassônica por 10 minutos, com limite de temperatura de 45º C com a sonda de 25 mm de diâmetro, frequência de 20 kHz em potência de 750 W, em sonicador de ponteira da Vibra Cell VCX 750 (*Sonics Materials, Inc., Newtown, CT*), como mostra a **Figura 14.**

A densidade da energia (ED – Energy density), pode ser representada pela potência utilizada e calculada de acordo com a (**Equação 1**), onde NAP significa dizer que P- potência nominal aplicada em (W), t -tempo em (s) e V - volume da amostra em (cm ^{3}).

$$E.D\ (J.cm^{-3}) = \frac{NAP\ x\ V}{t} \qquad \textbf{Eq.1}$$

Figura 14: Tratamento ultrassónico em diferentes potências dos sucos. a) sonda ultrassonica sonicando suco, b) condensador, c) suco de AB à 40% sonicado, d) suco MM sonicado a 40% e e) suco de cubiu a 20% sonicado.

Sucos das espécies AB, CB e MM sonicados. **(a)** sonicador de ponteira (sonda); **(b)** controlador ultrassonico **(c)** Suco de abricó sonicado a 40 %**, (d)** suco de mari-mari a 40 % e **(e)** suco de cubiu sonicado a 20 %

Fonte: Autor, 2023.

4.4. Análises físico – químicas dos Sucos

As análises físico-químicas realizadas nos sucos e polpa liofilizadas dos frutos AB, CB e MM foram: composição centesimal, minerais, pH, Acidez total, cor, teor de sólidos solúveis.

4.4.1. Composição centesimal

A composição centesimal da polpa dos frutos AB, CB e MM foi determinada de acordo com os métodos padrão da Associação de Químicos Analíticos Oficiais (AOAC,2019), incluindo umidade, lipídios, proteínas, fibra dietética, cinzas e carboidratos. Além disso, foi seguida a norma 950.46, com algumas modificações [121].

4.4.2. Minerais

O teor de Cálcio (Ca), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Potássio (K), Sódio (Na), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) foram determinados por espectrometria de absorção atômica, como preconizado pelo instituto Adolfo Lutz (2008), onde a digestão das amostras é realizada em via micro-ondas no digestor MARS-XPRESS CEM Corporation, MD – 2591, na mineralização da matéria orgânica com a utilização de ácido nítrico concentrado, seguido do resfriamento e diluição com água deionizada. A leitura foi realizada diretamente nas soluções diluídas em espectrofotômetro de absorção atômica (*Spetra AA, Modelo 220 FS. Varian 2000*), com lâmpadas especificas conforme o manual do fabricante. Para o controle das análises foram utilizados os materiais de referência certificado PEACH LEAVES (NIST – SEM 1547) [122].

4.4.3. Análise de pH

O pH dos sucos foi medido utilizando pH metro digital Asko, modelo AK90.

4.4.4. Análise de acidez total

A acidez total foi determinada por titulação e expressa em grama de hidróxido de sódio (NaOH) por 100 mL de suco.

4.4.5. *Análise de sólidos solúveis*

O preparo dessa análise é feito O conteúdo de sólidos solúveis foi determinado usando um refractómetro digital (HI 96801, Hanna Instrumentes) e os resultados foram expressos por % Brix a 25◦ C.

4.4.6. Determinação dos parâmetros de cor

A colorimetria foi determinada com um calorímetro digital (Delta Color 71421, Delta Vista) fornecendo os parâmetros de cor como luminosidade L* (brilho, branco para preto), a* (vermelho para verde), b* (amarelo para azul), a análise foi realizada em triplicata. A variação total de cor (ΔE) foi calculada pela seguinte **equação 2:**

$$\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}} \qquad \textbf{Eq 2.}$$

4.5.***Análises das ações antioxidantes***

Para avaliar a atividade antioxidante da polpa e suco foram realizadas as análises de teor de compostos fenólicos totais, da atividade antioxidante pelo sequestro e eliminação de radical livre pelos métodos DPPH (2,2-difeenil-1-picrilidrazil), ABTS (2,2-azino-bis-(3etil-benzotiazolina-6-ácido sulfônico), bem como FRAP (potencial antioxidante de redução férrica) e carotenoides.

4.5.1. Determinação do conteúdo fenólico total

Para a determinação do teor fenólico das amostras (sucos) das espécies AB, CB e MM foi preparada duas soluções: a primeira solução de Folin Ciocalteau (1N,Sigma) para um volume de 100 mL; a segunda solução de bicarbonato de sódio (6 g, Sigma) e adicionado à primeira solução de Folin ciocalteau, conforme descrito por [58]. As amostras foram preparadas em uma concentração de 1 mg/mL em solvente metanólico.

Realizou-se a análise com a diluição de 20 μL de amostra, em 150 μL da solução de Folin-Ciocalteau, mantido em repouso por cinco minuto. Em seguida, foram adicionados 150 μL da solução de Bicarbonato de Sódio ($NaHCO_3$) e mantida em repouso por 90 min. A leitura foi feita em Leitor de microplacas (Epoch|2 Biotek) em comprimento de onda de 750 nm. Determinou-se o teor de fenólicos totais por equivalência a ácido gálico (EAG) através da curva de calibração previamente obtida.

4.5.2. Análise ação antioxidante pelo método **DPPH•**

A capacidade antioxidante dos diferentes processos de tratamento da amostra de AB, CB e MM foi avaliada pelo método DPPH. Uma alíquota de 100 µM de solução metanólica de DPPH• foi preparada, seguido pela adição de 1 mL da amostra para 1 mL da solução de DPPH [61],[123].

A mistura foi mantida no escuro a temperatura ambiente por 30 minutos. Posteriormente a absorbância foi medida a 515 nm utilizando o leitor de microplacas (Epoch|2 Biotek,).

A porcentagem de inibição foi calculada de acordo com a equação 2 e 3:

$$\%\ de\ Inibição\ do\ radical\ DPPH = \frac{([Absor.\ controle - Absor.amostra])}{Abosor.controle} x\ 100)] \quad \textbf{Eq.3}$$

$$[100 - [\left(\frac{absorbância}{absorbancia\ media\ do\ controle}\right) x\ 100] \quad \textbf{Eq.4}$$

O potencial antioxidante foi definido por sua equivalência ao padrão Trolox, os experimentos foram realizados em triplicata.

4.5.3. Análise ação antioxidante pelo método ABTS •+

O ensaio da capacidade sequestrante do ABTS•+ consistiu em medir a descoloração da solução de ABTS•+ pela presença de extratos antioxidantes, de acordo com o método descrito por Rufino e colaboradores [124], [125]. A solução catiônica do radical ABTS•+ foi preparada usando ABTS•+ (7 mM) e Permanganato de Potássio ($K_2S_2O_8$) (140 mM) a temperatura ambiente. A absorbância foi ajustada para 0,70 a 0,6 (±0,05) em 750 nm ($y = -0{,}0003x + 0{,}7502, R^2 = 0{,}9999$) usando etanol. Após o tempo reacional de 6 minutos, a amostra (suco) foi pipetada para placa de 96 poços com o radical na proporção de 1 mL para 1:10 v/v, as absorbâncias foram mensuradas em Leitor de Microplaca (Epoch|2 Biotek,) em 750 nm.

4.5.4. Análises do poder antioxidante da redução férrica

No momento da análise, o reagente poder antioxidante de redução férrica (FRAP) foi preparado com 25 mL de tampão acetato a 300 mmol/L, 2,5 mL de 2,4,6-Tri(2-piridil) -1,3,5-triazina (TPTZ) a 10 mmol/L e 2,5 mL de $FeCl_3$ a 20 mmol/L. A reação foi iniciada pela transferência de 90 µL de cada solução de suco, 270 µL de água destilada e 2,7 mL do reagente FRAP para placa de poços, em triplicata conforme descrito por Rufino e colaboradores [124]–[126]. A leitura foi realizada de imediato em leitor de microplaca (Epoch|2 Biotek) a 595 nm.

O reagente FRAP foi usado como branco e sulfato ferroso ($FeSO_4$) foi usado como controle positivo. A atividade antioxidante total foi determinada pela substituição da equação da linha de absorbância equivalente a 1000 µM de $FeSO_4$ padrão, e expressos em µM $FeSO_4$ /g de extrato.

4.5.5. Carotenoides

Para a quantificação dos carotenoides foi utilizado o método de carotenoides com controle em ß – caroteno, com algumas modificações [3], [127], e [128], [129] que consistiu em suco, água e hexano na proporção de 1:5:6 (v/v/v). A mistura foi agitada em vórtex por 1 minuto e depois centrifugada por 1 minuto, 3000 rpm o sobrenadante foi analisado em leitor de microplaca (Epoch BioTek) a 450 nm, o hexano e ß-caroteno foram utilizados como controles.

4.6. Caracterização química por meio de espectroscopia de absorção molecular na região UV-Vis

Para a determinação da região de máximo de absorção dos sucos liofilizados e tratados por ultrassom foram pesadas cerca de 3mg de amostra e adicionadas 5mL de etanol (PA), seguido de agitação com vortex durante 2min. Em seguida, as amostras foram deixadas 24h no etanol protegido com papel alumínio na temperatura de 23 ºC. Posteriormente, agitou as amostras no vortex durante 2min, seguida de centrifugação (3.000rpm) durante 10min. As medidas foram realizadas em cubeta de quartzo de 2 faces polidas no espectrofotômetro de absorção UV-Vis (Cary 50), na faixa de 200 a 800 nm.

4.7. Caracterização química por espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier com módulo ATR (FTIR-ATR)

Para a determinação do perfil químico das amostras foi utilizado o espectrofotômetro de infravermelho por transformada de Fourier com modulo de reflexão total atenuada (FTIR-ATR) da marca Agilent Cary (630 FTIR-ATR), com cristal de ZnSe ATR. As amostras de suco de AB, CB e MM foram realizadas na faixa de 680 – 4000 cm^{-1}.

4.8. Análise da Digestibilidade *in vitro*

Este ensaio consistiu em fazer todos os fluidos simulados usados (fluido salivar simulado, SSF; fluido gástrico simulado, SGF; fluido intestinal simulado, SIF) foram preparados conforme o protocolo INFOGEST [10]. Resumidamente, α-amilase de saliva humana (código SKU: A1031; Sigma-Aldrich; 75 μ mL) disperso em SSF foi usado para a fase oral (37 °C por 2 min). O bolo oral foi diluído em SGF a pH 3,0 com pepsina (código SKU: P7012; Sigma-Aldrich; 2.000 μ mL) a 37 °C por 120 min.

O quimo gástrico foi diluído em SIF (pH = 7,0) contendo pancreatina (código SKU: P7545; Sigma-Aldrich; 100 U μmL com base na atividade da tripsina) e sais biliares (código SKU: B8631; Sigma-Aldrich; 10 mM) por 120 min a 37°C. HCl (1 M) e NaOH (1 M) foram adicionados conforme necessário para ajuste do pH. Quatro alíquotas líquidas foram coletadas após as fases oral, gástrica e pancreática, e os resíduos sólidos não hidrolisados foram coletados após centrifugação a 10.000 x g por 12 min.

O pH é ajustado utilizando a Solução de HCl (1 M). A solução foi mantida sob agitação em uma câmara da agitação orbital às 200 rpm por 2 h a 37°C. O pH foi monitorizado e corrigido para 3.0 cada intervalo de tempo de 30 minutos. Fase do intestino delgado (duodenal) (IF): O produto resultante da fase gástrica (chyme; 20 mL) foi adicionada ao fluido intestinal simulado (SIF; 7,8 mL), $CaCl_2$ (H_2O) $_2$ (40 mL; 0,3 M), água ultrapura (1,31 mL), solução de lipase (3,2 mL; 25.000 U/mL), solução de pancreatina (5 mL; 800 U/mL) e extrato de bílis suína (2,5 mL; 160 mM). O pH foi ajustado para 7 adicionando 0,10 mL de HCl 1 M gota a gota conforme descrito por[10]. A solução foi mantida sob agitando em uma estufa (Mylabor + SS) climatizada com agitação orbital à 37 °C por 2h.

4.9. Análise estatística

Um delineamento inteiramente casualizado foi utilizado para avaliar o efeito do ultrassom nas diferentes potências (20 %, 40 %, 60 % e 80 %). As análises estatísticas foram realizadas nos seguintes conjuntos de dados: análise físico-químico, composição centesimal, minerais, fenóis totais e sequestro de radicais livres (antioxidantes).

A significância estatística foi avaliada através da análise de variância (ANOVA) e o método de Duncan foi aplicado para realizar comparações múltiplas entre as médias dos grupos (AB, CB e MM) com nível de significância $p < 0,05$. Os pacotes utilizados foram o *agricolae* (ANOVA e Duncan), e *ggplot2* para visualização gráfica dos dados, respectivamente.

Utilizou-se o pacote *mixomics* para realizar uma análise de componentes principais (PCA) com intuito de correlacionar os principais ensaios antioxidantes em relação a variação das potências aplicadas em cada suco. A correlação de Pearson foi utilizada através do pacote *metan* para avaliar a relação linear entre as variáveis de composição centesimal e minerais. Todas as análises estatísticas foram implementadas no Software RStúdio (versão x64 4.2.2).

CAPÍTULO V: Resultados, discussão e Prespectiva futuras

Nessa seção serão apresentados os resultados obtidos, corroborando com análises experimentais entre a ultrassom, antioxidantes por métodos de (ABTS, DPPH, FRAP e carotenoides com a digestibilidade *in vitro*. Discutindo sobre a extração pelo método de ultrassom pode ter influenciando na (liberação) de compostos bioativos dos sucos das espécies abricó, cubiu e mari-mari, e ver também analises espectroscópicas das principais estruturas que representam grupos funcionais de compostos existentes as espécies (AB, CB e MM) bem como medir a quantidade de compostos liberados por ultrassom foram ou não absorvidos pelo organismo através da digestibilidade *in vitro,* e por via dessa correlacionar os principais grupos de compostos existentes entre espécies de mesma família.

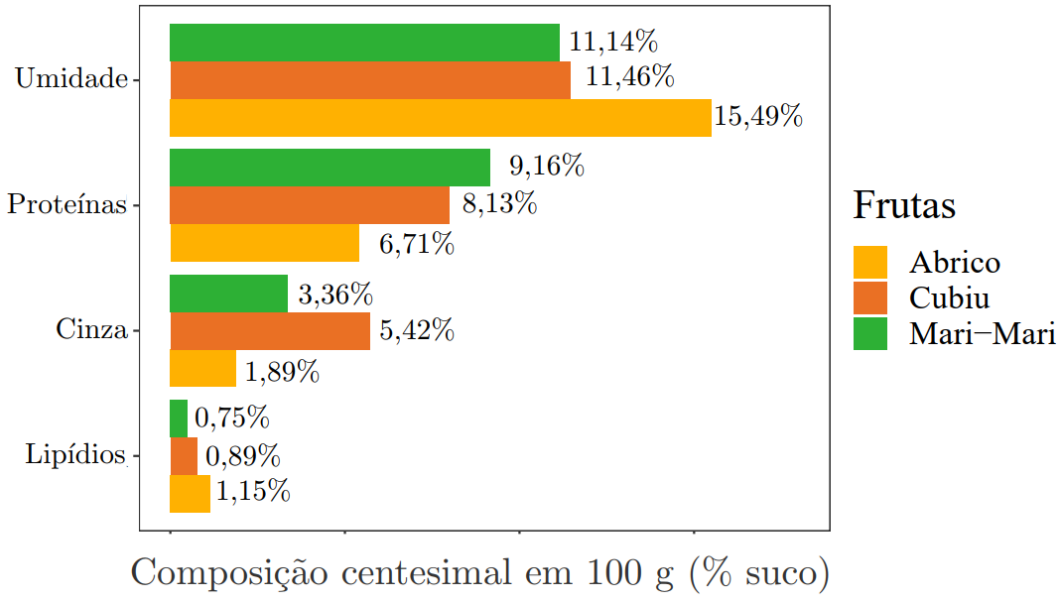
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Caracterização física -química

5.1.1. Composição centesimal

O percentual correspondente à composição centesimal dos sucos das espécies AB, CB e MM estão apresentados na **Figura 15**. Os resultados foram avaliados com nível de significância de ($p < 0,05$).

Figura 15: Composição centesimal do suco sonicado e liofilizado das espécies (AB, CB e MM) em 100 g (% de suco).



ó

Os resultados estão apresentados em porcentagem de Lipídios, Cinza; Proteínas e Umidade.

Fonte: Autor, 2023

Com os parâmetros apresentados na **figura 15,** (umidade, proteínas, cinza e lipídios) esses parâmetros são importantes porque dão informações nutricionais que fornecem dados valiosos para que se busque uma dieta equilibrada, além disso, a composição centesimal é um indicador da qualidade suco, por demostrar e indicar a frescura da fruta [130].

A análise do percentual de composição centesimal do suco de frutas desempenha um papel crucial na promoção da saúde pública, no controle de qualidade, no desenvolvimento de produtos e na satisfação do consumidor. Além disso, essa análise fornece dados essenciais para diversos setores, desde a indústria alimentícia até a promoção de estilos de vida saudável.

A quantidade de umidade do suco de AB mostrou-se com valor superior (15,49%)**,** seguido por CB e MM (11.46 e 11,14 %) respetivamente, os resultados mostra uma diferença baixa entre elas. Estudos anteriores encontraram valores referente a umidade [112] (64 e 38%) em polpa de romã, mostrando diferenças em relação a umidade, enfatizando que provavelmente pode ter sido devido a proporção polpa-água, da matriz da fruta.

A quantidade de proteínas encontrada nos sucos liofilizados MM, CB e AB (9,16; 8,13 e 6,71%) respectivamente, foi bem expressivo quando comparado à outros sucos de frutas amazônicos como por exemplo, araçá-boi (*Eugenia stipitata McVaugh*; 0,41 %), buriti (*Mauriti flexuosa* Lf; 0,68 %), Ambelania *duckei* (2,24-6,76 %), Biribá (*Rollinia mucosa (*Jacq*)* Baill.; 1,01 %), pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth*;* 3,90 %) [8],[131],[13]. No entanto para dar e agregar valor a estas espécies amazônicas, podemos incorporá-las em outros alimentos do consumo caseiro do dia a dia, como biscoitos, saldas frias entre outras, assim estaríamos a contribuir para valorização das espécies PANC´s do cerrado amazônico tanto em nível regionaç quanto nacional, agregando assim o seu valor nutricional.

O teor de cinzas do suco da espécie CB foi de (5,42%), seguida do MM apresentando 3,36% e AB com 1,89%. Estes foram equiparados ao da polpa do fruto Ambelania *duckei* (5,53%) [8], Maracujá (*passiflora alata Dryand;* 0,7%), Graviola (*Annona muricata* L. ; 0,2%), jenipapo (*Genipa americana* L.; 0,4%) [132],[114]. Os lipídios são importantes fontes de energia, sabor e nutrientes essências, como ácidos graxos e vitaminas lipossolúveis [133]. Nesse contexto valores para as espécies AB (1,15%), seguido do CB e MM com (0,89%).

5.1.2. Composição de minerais

A importância nutricional oferecida por sucos quanto aos minerais torna-os indispensáveis ao funcionamento do organismo.

A **Tabela 2** mostra os resultados de composição de minerais realizado com os sucos das espécies (AB, CB e MM).

Tabela 2: Composição de minerais dos sucos de AB, CB e MM.

Amostras	Minerais (mg/ 100 g)			
	K	Ca	Mg	Na
AB	74.43 ± 0.22[a]	23.03 ± 0.69[b]	3.36 ± 0.11[c]	2.87 ± 0.02[a]
CB	45.84 ± 0.08[b]	26.48 ± 1.27[a]	15.45 ± 0.42[a]	2.03 ± 0.02[c]
MM	75.41 ± 2.60[a]	14.29 ± 0.72[c]	12.12 ± 0.39[b]	2.60 ± 0.06[b]
Amostras	Minerais (mg/ 100 g)			
	Mn	Cu	Fe	Zn
AB	0.40 ± 0.020c	ND	1.07 ± 0.24[b]	2.56 ± 0.28[c]
CB	3.83 ± 0.09[b]	ND	1.55 ± 0.11[a]	4.32 ± 0.24[b]
MM	9.33 ± 0.21[a]	ND	1.28 0.14[ab]	5.71 ± 0.21[a]

Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão. Médias na mesma coluna com diferentes sobrescritos $(a\text{-}c)$. São significativamente diferentes pelo método de Duncan (p-valor < 0,05). K = Potássio, Ca = Cálcio; Mg = Magnésio; Na = Sódio, Mn = Manganês; Cu=cobre Fe = Ferro; Zn = Zinco, ND= não detectado.

Os minerais pertencem a um grupo de nutrientes essenciais que são consumidos em quantidades relativamente pequenas em comparação com os macronutrientes, mas são igualmente importantes para a saúde humana [134]. A importância nutricional oferecida pelos sucos de frutas quanto aos minerais torna-os indispensáveis ao funcionamento do organismo, segundo as normas estabelecidas pela ANVISA para valores diários recomendados de ingestão de minerais[135].

No presente trabalho, todos minerais apresentaram diferenças significativas entre si (**Tabela 2**). Para o mineral potássio, o resultado apresentou maiores valores diferindo estatisticamente, expresso em mg $(100\ g^{-1})$ de amostra de suco sonicado e liofilizado. Nesta perspectiva, sendo o potássio, com (75,41 mg/100g), (74,43 mg/100 e 45,84 mg/100g) respetivamente, de suco sonicado e liofilizado nas três espécies. Estes são considerados valores aceitáveis, quando comparado ao presente em outros sucos de frutas, por exemplo, camu-camu (44,00 mg/100g) [8].

E polpa de patinho (750,00 mg/100 g) [134]. Este teor de potássio bem expressivo pode assim ser caracterizado como um potencial desta fruta em suco, ou incorporando em produtos como suplementos alimentares. Seguido do cálcio com (26.48, 23.03 e 14.29). O que corrobora com estudo de Barros e colegas [110].

A importância nutricional oferecida pelos sucos de frutas quanto aos minerais torna-os indispensáveis ao funcionamento do organismo, segundo as normas estabelecidas pela ANVISA para valores diários recomendados de ingestão de minerais [19] [110]. Sobre frutas romã e melão (78,00 e 44,00 mg/100 g) respectivamente. Sendo que o mineral cálcio é fundamental para a formação e manutenção de dentes e ossos.

Curiosamente, o teor de magnésio presente em suco sonicado de CB e MM (15.45 e 12.12 mg/100 g), foi bem expressivo quando comparado aos sucos de outras frutas como por exemplo, caju (10,00 mg/100 g) e goiaba (10,00 mg/-100 g)[136][8]. Esse teor elevado pode estar associado a liofilização [137], além de ser caracterizado assim um potencial uso agregando valor em produtos como bebidas e suplemento alimentares.

Os resultados obtidos dão-nos conta que são os alimentos que servem como nutracêutico, por esses mostrarem bons valores de minerais, Os resultados mostraram as aplicabilidades das componentes que não são destruídas com o tratamento, mas, foi de extrema importância nesse trabalho para conhecer a rica propriedades nutricionais dos sucos de AB, CB e MM. Além de ser uma estratégia de consumo racional poderia ser, por exemplo, incorporada ao suco, a farinha para produção de pães e bolos, substituindo açúcares ou gorduras e aumentando o teor de fibras.

5.1.3. pH, acidez Titulável e sólidos solúveis

Um meio ácido (com pH abaixo de 4,5) pode, não só, impedir a proliferação de várias cepas bacterianas, como também a degradação das vitaminas presentes nos alimentos e sucos processados [88],[3]. Consideração os níveis adequados de pH e acidez total em sucos de frutas é de extrema importância, uma vez que estes atributos afetem substancialmente a estabilidade física, química e microbiana dele. Os resultados e as suas variações sobre as características físico-químicas (sólidos solúveis, pH e acidez total) dos sucos tratados das espécies AB, CB e MM estão descritos na **Tabela 3.**

Tabela 3: Resultados sobre a caracterização físico-química dos sucos AB, CB e MM com e sem tratamento por ultrassom.

Tratamento (%)	Sem tratamento	US 20 ± DP	US 40 ± DP	US 60 ± DP	US 80 ± DP
Abricó (*Mammea americana*)					
pH	4,46 ± 0,05^{a}	4,22 ± 0,05^{b}	4,16 ± 0,05^{b}	4,26 ± 0,05^{b}	4,16 ± 0,05^{b}
AT (%)	9,73 ± 0,05^{a}	7,56 ± 0,05^{b}	7,03 ± 0,05^{b}	7,33 ± 0,05^{b}	7,36 ± 0,05^{b}
SS (%)	3,36 ± 0,05^{c}	2,71 ± 0,05^{d}	3,46 ± 0,05^{c}	3,85 ± 0,05^{b}	4,11 ± 0,05^{a}
Cubiu (*Solanum sessiliflorum*)					
pH	4,71 ± 0,05^{a}	4,34 ± 0,05^{b}	4,36 ± 0,05^{b}	4,33 ± 0,05^{b}	4,33 ± 0,05^{b}
AT (%)	6,63 ± 0,06^{a}	6,33 ± 0,05^{ab}	5,91 ± 0,05^{b}	4,91 ± 0,13^{c}	4,81 ± 0,12^{c}
SS (%)	3,33 ± 0,05^{a}	2,56 ± 0,05^{b}	2,43 ± 0,05^{b}	2,55 ± 0,05^{b}	2,43 ± 0,05^{b}
Mari-mari (*Cassia leiandra* Banth)					
pH	4,13 ± 0,01^{b}	4,37 ± 0,01^{a}	4,47 ± 0,01^{a}	4,43 ± 0,01^{a}	4,40 ± 0,01^{a}
AT (%)	11,5 ± 0,05^{c}	11,36 ± 0,05^{c}	12,33 ± 0,05^{b}	12,64 ± 0,05^{a}	10,40 ± 0,05^{d}
SS (%)	6,83 ± 0,04^{a}	6,66 ± 0,04^{a}	6,71 ± 0,04^{a}	6,83 ± 0,04^{a}	6,63 ± 0,04^{a}

DP- ± desvio padrão. $^{a\text{-}d}$ Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Duncan (p-valor < 0,05). US = tratamento por ultrassom. AT = acidez titulável; SS = sólidos solúveis. Meios que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes.

Os dados mostram que os sucos das espécies AB, CB e MM tem caráter ácido (pH) e apresentam um sabor caraterístico meio azedo (pouco doce) com valores de sólidos solúveis em torno de (6,83% em ° Brix). Além disso, há maior quantidade de acidez totais no suco do fruto MM (12,64% AT). Com isso, não foram observadas diferenças significativas entre os parâmetros de pH, em relação a todos os tratamentos. Mas, para sólidos solúveis do MM e CB não foram observadas diferenças significativas. A sonicação também manteve essas características inalteradas em frutos de noni (*Morinda citrifolia L.)* onde foram identificados valores mais baixos de sólidos solúveis (1,3 % em ° Brix), pH de 3,9 e acidez titulável de 0,17% [66].

Isso pode estar associado aos fenômenos físicos ligados ao colapso de bolhas de cavitação, que foram descritos por Yasui e colaboradores [56], além disso, a degradação das vitaminas depende do pH do alimento a ser processado [26]. Os níveis de pH e acidez nos diferentes tratamentos advertem que são iguais em todas as amostras, ou seja, nesse parâmetro não houve alteração e só teria causado influência nos sucos se tivesse alterado o pH, degradando assim vitaminas e proteínas.

5.1.4. Medidas de parâmetros de Cor

As propriedades da cor do suco desempenham um papel significativo na avaliação da qualidade geral do suco pelos clientes. A cor adequada ao produto também pode melhorar o nível de aceitação desse alimento (suco de fruta) após o processamento, os resultados obtidos por colorimetria para a elucidação da amostra do suco da espécie AB estão expostos na **tabela 4**.

Tabela 4: Análises de cor da espécie AB, antes e após o tratamento ultrassônico em diferentes potências.

Tratamento (%)	Sem tratamento	US20 ± DP	US40 ± DP	US60 ± DP	US80 ± DP
Abricó *(Mammea americana)*					
L ∗	29,07 ± 0,04^{e}	29,48 ± 0,02^{d}	33,57 ± 0,09^{c}	35,16 ± 0,03^{b}	36,22 ± 0,02^{a}
a∗	8,11 ± 0,01^{a}	7,09 ± 0,07^{b}	5,93 ± 0,17^{c}	5,56 ± 0,02^{d}	5,93 ± 0,03^{c}
b∗	27,59 ± 0,05^{c}	27,50 ± 0,35^{c}	30,95 ± 0,02^{a}	28,49 ± 0,04^{b}	28,43 ± 0,05^{b}
ΔE		38,39 ± 0,28^{c}	40,24 ± 0,02^{a}	36,81 ± 0,04^{d}	36,39 ± 0,06^{e}

Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão. (*a-e)* Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo método de Duncan (p-valor < 0,05). US = Tratamento por ultrassom, L = leveza da cor; a∗ e b∗ representam eixos de cromaticidade. Δ*E* = diferenças na cor total. Meios que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes.

A coloração do suco geralmente mede-se pôr parâmetros de cor L* (claro/escuro), a* (vermelho/verde) e b* (amarelo/azul) e é ditada pela presença e composição de fenóis, antocianinas e carotenoides no interior dele, exercendo uma influência benéfica na proteção das células probióticas [129].

No parâmetro L***,** a amostra controle relatou valores de (29,07 ± 0,04), enquanto as amostras tratadas por sonicação apresentaram faixa de (29,48- 36,22), indicando tom de mais luminosidade, estes são significativos entre o parâmetro L* no suco de AB a 80%, tratado por ultrassom, quando comparado aos sucos de 20, 40, 60 % e sem tratamento. Isso, pode estar relacionado ao aumento da concentração do compostos bioativos devido à quebra das estruturas da parede celular, que ocorre por cisalhamento das ondas ultrassônicas[3]. Maior valor do parâmetro luminosidade pode ser benéfico para aceitação dos sucos pelo consumidor.

Os resultados corroboram com estudos anteriores de Souza e colaboradores [3], [99] que mostram aumento do brilho dos sucos de goiaba quando tratados por ultrassom. Ainda na **Tabela 4**, o parâmetro b^* apresentou aumento significativo ($p < 0,05$), após o processamento ultrassónico do suco do AB, resultando em um aumento de cor amarelo mais intensa ($b^* > 0$). Com isso, a melhoria deste parâmetro pode influenciar positivamente a aceitação do consumidor.

Portanto, houve variação significativa (valor $p < 0,05$) dos parâmetros de cor deste suco tratado por ultrassom. Foi observado aumento de L* e b*, bem como redução de a*, essa redução pode ser devido às baixas concentrações de compostos responsáveis pela cor verde e vermelha, que esse suco pode apresentar em pouquíssimas quantidades, o aumento de L* e b respectivamente. E pode estar relacionado ao aumento da concentração do β-caroteno devido à sua extração intracelular provocada pelo colapso das bolhas ultrassônicas Souza e colaboradores [3], [138]. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos anteriores de Souza [3] com sucos de buriti e de sobre farinhas de subprodutos de frutas de buriti [139].

Os parâmetros de cor nos sucos de frutas são complexos e multifacetados, sendo influenciados por diversos fatores desde a composição química das frutas até o processamento e armazenamento. Assim, analisar esse parâmetro em suco de CB foi essencial para garantir a qualidade sensorial e aceitação do produto final [64]. **A tabela 5** apresentada os resultados de cor para o fruto de Cubiu, realizado o tratamento para diferentes intensidades de potência ultrassom.

Tabela 5: Análise de cor da espécie AB, antes e após o tratamento ultrassônico em diferentes potências.

Tratamento (%)	Sem tratamentos	US20 ± DP	US40 ± DP	US60 ± DP	US80 ± DP
Cubiu *(Solanum sessiliflorum)*					
L ∗	25,68 ± 0,05^c	27,97 ± 0,03^a	26,74 ± 0,35^b	28,01 ± 0,17^a	28,04 ± 0,04^a
a∗	7,38 ± 0,64^a	6,29 ± 0,06^e	6,81 ± 0,04^b	6,68 ± 0,01^c	6,41 ± 0,02^d
b∗	18,11 ± 0,76^e	20,38 ± 0,74^a	19,58 ± 0,47^b	19,14 ± 0,05^c	18,36 ± 0,76^d
ΔE		32,94 ± 0,13^a	33,10 ± 0,17^a	31,89 ± 0,12^c	31,13 ± 0,52^d

Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão. (*a-e*). Médias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo teste de Duncan (p-valor < 0,05). US = Tratamento por ultrassom, L = leveza da cor; a∗ e b∗ representam eixos de cromaticidade. Δ*E* = diferenças na cor total. Meios que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes.

Para o suco de cubiu, observa-se variação significativa (valor p < 0,05) dos parâmetros de cor tratado por ultrassom. Foi observado aumento de L* e b*, bem como redução de a*. O aumento de L* e b*, pode estar conexo com o aumento da concentração do carotenoide devido à sua extração intracelular provocada pelo cisalhamento das ondas do ultrassom[140], [141]. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos sobre identificação e quantificação de carotenóides [142]. Assim, esse estudo contribui no âmbito nutracêutico uma vez que tanto vitamina A quanto o β-caroteno são necessários para a manutenção da saúde da visão, protegendo contra a catarata e a degeneração macular, além de serem essenciais para a integridade da pele e do cabelo [111], [143].

Os nutrientes dos alimentos verdes são indispensáveis para a manutenção da saúde. Entre os minerais, destacam-se o cálcio, que é fundamental para a formação e a manutenção de dentes e ossos, e o suco do MM ostenta essa cor caraterística. Os resultados obtidos por calorimetria para o suco dessa espécie, foram realizados em diferentes potências sonicadas por ultrassom, estão apresentados na **Tabela 6.**

Tabela 6: Análise de cor da espécie MM, antes e após o tratamento ultrassônico em diferentes potências.

Tratamento (%)	Sem tratamento	US20 ± DP	US40 ± DP	US60 ± DP	US80 ± DP
Mari-mari *(Cassia leiandra Banth)*					
L ∗	55,01 ± 0,04^{d}	58,07 ± 0,00^{c}	60,14 ± 0,01^{b}	61,79 ± 0,00^{a}	60,15 ± 0,01^{b}
a∗	-4,50 ± 0,02^{e}	-1,29 ± 0,01^{d}	-0,61 ± 0,01^{c}	-0,10 ± 0,02^{b}	1,31 ± 0,02^{a}
b∗	21,23 ± 0,02^{a}	15,77 ± 0,00^{b}	15,10 ± 0,02^{c}	13,44 ± 0,04^{d}	13,34 ± 0,02^{e}
ΔE		18,89 ± 0,01^{b}	18,58 ± 0,02^{c}	17,33 ± 0,04^{d}	16,30 ± 0,03^{e}

Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão. (*a-e*) Medias com a mesma letra na mesma linha não são significativamente diferentes pelo pacote de Duncan (p-valor < 0,05). US = Tratamento por ultrassom, L = leveza da cor; a∗ e b∗ representam eixos de cromaticidade. Δ*E* = diferenças na cor total. Meios que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes.

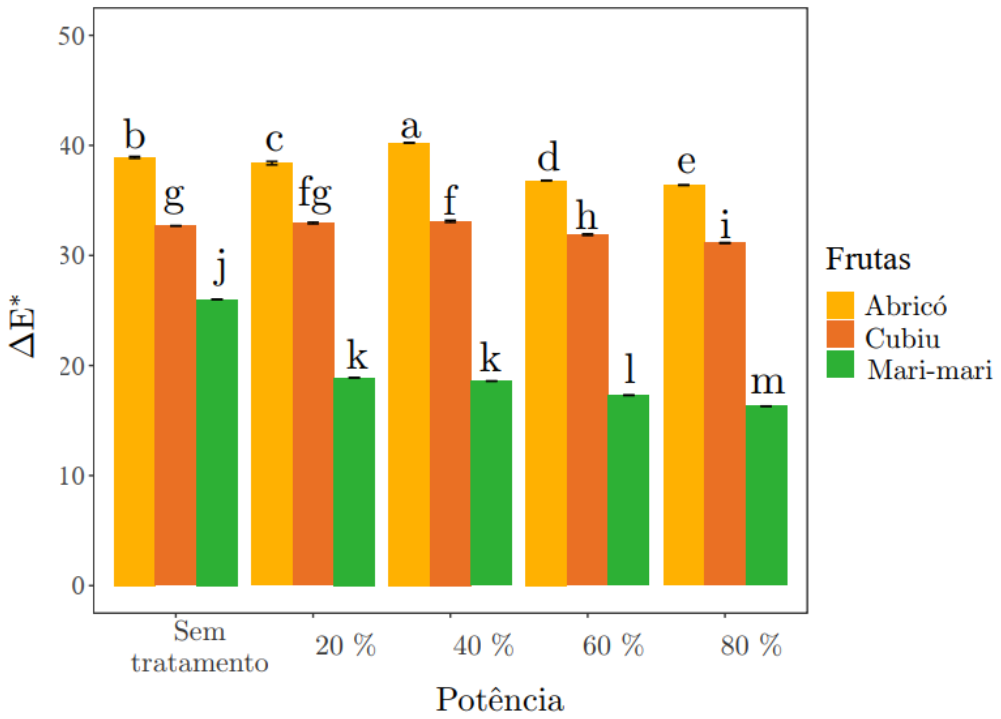
Para o suco MM, observa-se variações significativas (valor p < 0,05) dos parâmetros de cor tratado por ultrassom. Foi observado aumento de luminosidade L* (61,79), o aumento de L* para esse suco pode estar relacionado com o aumento da concentração das vitaminas A e C nele e diminuição no parâmetro a* (-0,10) destacando a cor verde. Resultados semelhantes foram encontrados em estudos anteriores de [43],

sobre identificação e de flavonóides e propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antiproliferativas usando polpa do fruto *cassia leindra* Banth.

As características da cor do suco de frutas desempenham um papel de extrema importância na formação de percepção dos consumidores sobre sua qualidade geral. Assim, a tonalidade pode ser atraente ao produto, podendo aumentar substancialmente os seus níveis de aceitação entre os consumidores.

Os resultados da diferença de delta total de cor dos sucos em estudo (AB, CB e MM) estão expostos na **Figura 16.**

Figura 16: Parâmetros de cor para sucos de Abricó, Cubiu e Mari-mari tratados com ultrassom.



Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão (a – m) Médias com a mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Duncan (valor de $p < 0,05$).

Fonte: Autor, 2023.

Em geral, diferenças significativas foram observadas entre os sucos das espécies (AB, CB e MM) estudadas, tratados em diferentes potências ultrassónicas, em termos de ΔE ($p < 0,05$) (**Figura 16**). As alterações de cor em sucos tratados com ultrassom podem estar associadas à oxidação de compostos bioativos, provocando a produção de outros compostos

apresentando cores diferentes [3], [144], [145]. O que também foi observado por Ashokkumar e colaboradores [90,91], que cor amarela laranjada é típica das cascas de frutas cítricas, causada pela degradação da clorofila verde e pela formação da característica.

O valor máximo de ΔE foi observado em 40% para as espécies AB e CB, principalmente devido ao elevado valor de b^*. Este efeito é atribuído à presença substancial de β-caroteno, um composto fitoquímico que dá origem à vitamina A.

Em geral, os alimentos amarelos e laranja também são ricos em vitamina C, micronutrientes com alta ação antioxidante que protegem ainda mais contra os radicais livres. Estas descobertas estão alinhadas com estudos anteriores conduzidos por Souza e colaboradores [3], que deram resultados bem expressivos de b^* em tratamento por ultrassons à 80% em sucos de buriti. Sendo que os principais compostos bioativos que estejam provavelmente liberados por ultrassons sejam luteína e zeaxantina, que são os pigmentos da mesma família do β-caroteno responsáveis por essa coloração.

5.2.Análise da atividade antioxidante

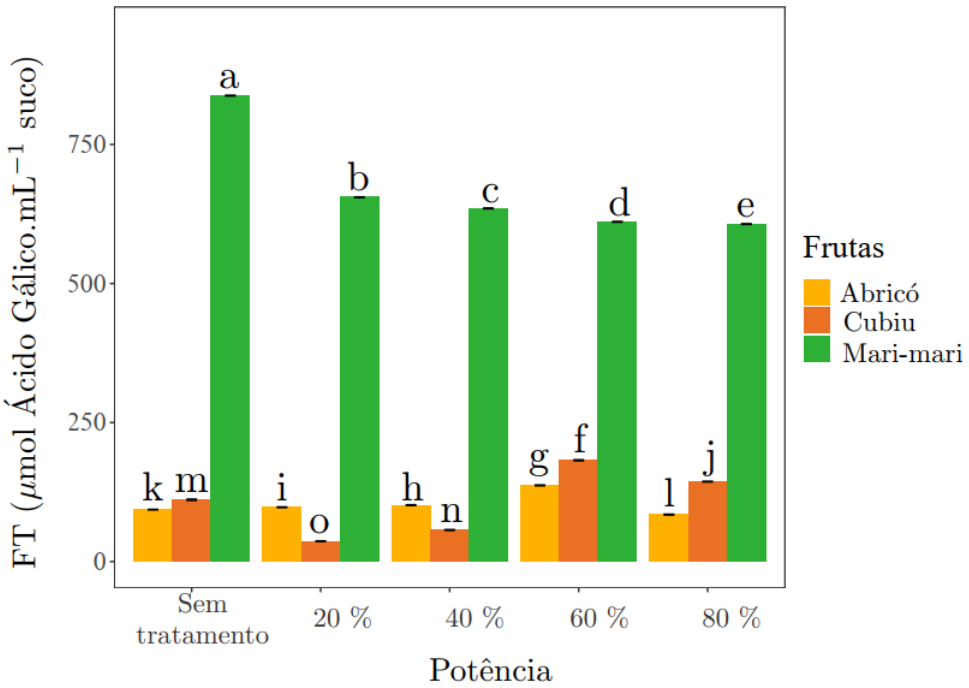
5.2.1. Capacidade antioxidante

A medição da capacidade antioxidante dos produtos alimentares é uma questão de interesse crescente porque pode fornecer uma variedade de informações, como a resistência à oxidação, a contribuição quantitativa das substâncias antioxidantes ou a capacidade antioxidante que podem apresentar no interior do organismo quando ingeridas [39]. Dependendo do mecanismo de reação, os métodos de capacidade antioxidante podem ser classificados em dois grupos: transferência de átomos de hidrogênio (HAT) e transferência de elétrons (ET). Para os ensaios baseados em ET medem a capacidade de um antioxidante na redução de um oxidante, que muda de cor quando reduzido. O grau de mudança de cor está correlacionado com as concentrações antioxidantes da amostra, (ABTS) / capacidade antioxidante equivalente ao Trolox hidrofílico (H-TEAC) é um dos ensaios de descoloração [40].

5.2.2. *Teor de fenólicos totais*

Recentemente, a extração assistida por ultrassom tem se mostrado como uma técnica rotineira para liberação de compostos bioativos, pois dá a possibilidade de alavancar concentrações bem expressivas dos compostos bioativos [3], [127], [129]. Além disso, essa técnica ecoambiental permite a extração de compostos da amostra com maior celeridade, temperatura controlada, além de ser económica. A **Figura 17**, apresenta os resultados do teor de compostos fenólicos dos sucos das espécies AB, CB e MM.

Figura 17: Teor de compostos fenólicos dos sucos das espécies de AB, CB e MM tratados por US.



Os resultados estão apresentados como média mais desvio padrão. (a – o) Médias com a mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Duncan (valor de $p < 0,05$).

Fonte: Autor, 2023.

Nesta pesquisa, constatou-se que houve algumas perdas, como também ganhos, em compostos fenólicos dos sucos tratados por ultrassom, como podemos observar na **Figura 17,** a amostra sem tratamento de MM foi a que melhor apresentou teor de fenóis, mas foi decaindo na medida em que foi submetida ao tratamento por ultrassom, porém a potência de US 60% para AB e CB foram que apresentaram teor de compostos fenólicos quando comparados à amostra controle.

A maior capacidade de antioxidante foi apresentada pelos sucos na ordem (US20, US40, US60 e US80), o efeito positivo e significativo (p-valor < 0,05) foi observado com aumento da sonicação de 20 % para 60 % no ultrassom.

Um estudo anterior apresentou valor superior ao encontrado para polpa de cupuaçu, tomate e manga [29]. E quando comparado com os resultados deste estudo para a espécie Abricó, pode-se considerar ela com promissor na dieta humana, sendo um fruto inserido no grupo das PANC's, abrindo assim a possibilidade de estudos mais profundos, como por exemplo, teste de estabilidade, câmara de umidade a qual devem continuar sendo feitos para que ocorra a sua comercialização em maior escala.

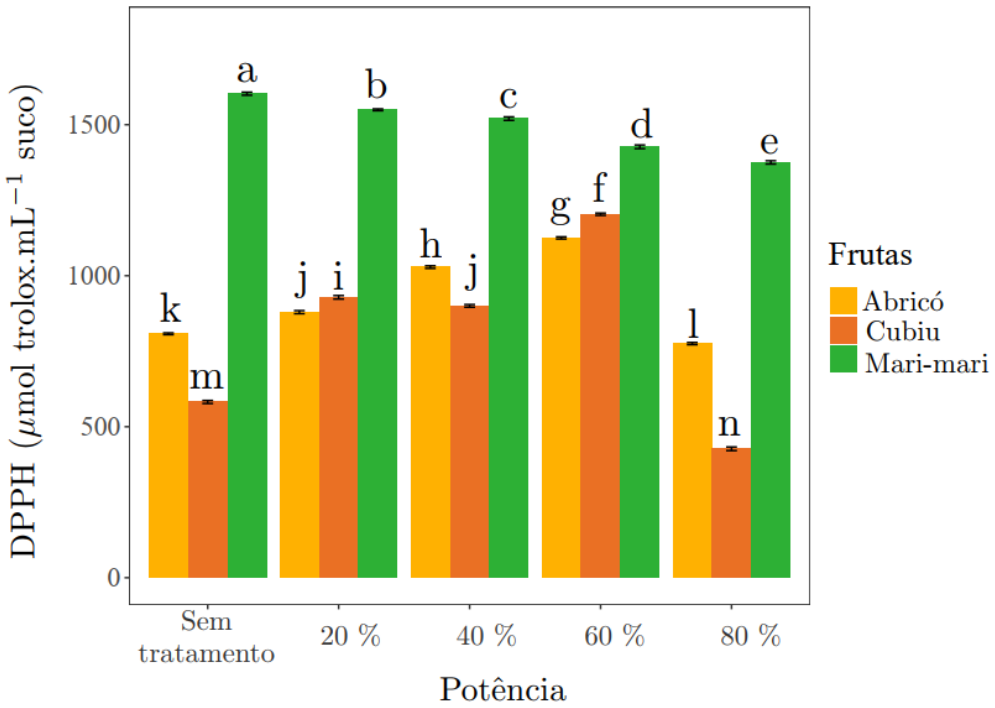
Segundo Tavares e colaboradores [29] a estabilidade da vitamina C aumenta com a diminuição da temperatura e a maior perda se dá durante o aquecimento, o que pode justificar degradação da vitamina C. A vitamina C funciona como um antioxidante [67], [146],[147]. Em estudo semelhante sobre a avaliação do efeito do processamento por ultrassom sobre os compostos antioxidantes do bagaço do caju (compostos fenólicos e vitamina C), com o uso do ultrassom houve aumento dos compostos fenólicos, fazendo com que boa parte desses compostos, como por exemplo, α-licopeno, quando convertido em processo digestivo favorecem como a quantidade de vitamina C e dessa forma contribuíram para o aumento da atividade antioxidante nas amostras. Confirmando desta forma, com o presente trabalho, que os sucos de AB apresentaram os valores de fenóis totais em torno de (138,00 ± 0,05 µmol ácido Gálico . mL^{-1} suco) e para CB (243,00 ± 0,05 µmol ácido gálico.mL^{-1} suco) possuem na sua maioria compostos com menos quantidade de vitamina C, quando comparado com o suco de MM.

De acordo Mnayer e colaboradores [75], [148], avaliando os compostos fenólicos totais em teste antioxidante obtidos por diferentes métodos de extração, concluiu que um maior conteúdo de fenólicos totais foi observado quando havia o tratamento por ultrassom assim como maior atividade antioxidante.

5.2.2. *Ação antioxidante pelo método DPPH•*

Os resultados principais das espécies abricó, cubiu e mari-mari estão ilustrados na **Figura 18**:

Figura 18: Efeito do potencial antioxidante dos sucos de AB, CB e MM tratados por US pelo método DPPH



Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. (a – n) Médias com a mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Duncan (valor de $p < 0,05$).

Fonte: Autor, 2023.

As microbolhas cavitacionais implodem a sua energia promovendo a fragmentação e de texturização das estruturas vegetais, tornando-as susceptíveis à penetração de solventes, extraindo assim os compostos alvo, como os fenólicos [42], [149]. Entre as três espécies o cubiu apresentou um aumento significativo de ($132.5 \pm 0,07$ µmol trolox.mL^{-1}) de DPPH. A formação de radicais livres, a qual foi observada atividade sequestrante desse suco. O que pode estar associado com a liberação causada pelas ondas no tratamento de ultrassom, dentro da matriz vegetal do material, além disso, pode estar relacionado à consideráveis liberação de certos compostos bioativos na parede intracelular do suco após o processamento ultrassônico [3], [129].

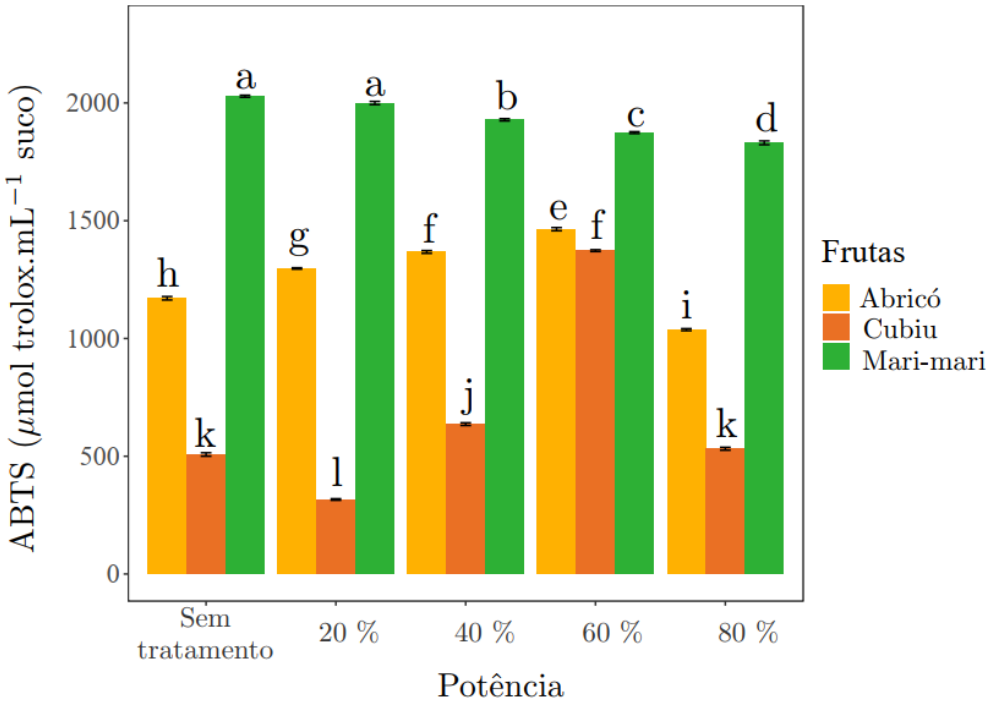
A **figura 18,** apresenta os testes da atividade antioxidante em sucos tratados com ultrassom apresentaram um aumento significativo de compostos antioxidantes quando a potência ultrassônica foi aumentada (**Figura 18)**. Um aumento significativo (p-valor < 0,05) de DPPH radicais livres foi observada atividade de sequestro dos sucos de AB e CB a 60% na concentração (1388,1 -1466,4 µmol TE/100 mL). Este fenômeno pode ser explicada pelo fato de que o tratamento com ultrassom promove a liberação de componentes bioativos do suco, rompendo e quebrando o material intracelular [5], [129]. Entretanto, em 80 % de potência para ambas as amostras houve um decaimento, confirmando que para cada espécie haverá parâmetros ótimos de potência a ser aplicada, e ao ultrassom esse limite. Neste contexto, o ultrassom pode promover um efeito reverso à decomposição química dos componentes de interesse apenas em sucos de AB e CB, o que foi diferente com o suco de MM, pois a amostra controle dele apresentou maior atividade.

Isso se deve à sua estrutura química única, que é capaz de aceitar elétrons desemparelhados, como espécies reativas de oxigênio/nitrogênio, e inibir o estresse oxidativo [3], [129]. Confirmando com estudos anteriores [129], [133] em jabuticaba, este apresente potente capacidade antioxidante *in vitro* (DPPH), ao investigar o efeito da ingestão de extrato liofilizados de cascas de *Myciaria jaboticaba* sobre a atividade antioxidante no plasma de rato, os resultados revelaram um aumento na capacidade antioxidante plasmática (1,7 vezes pelo método TEAC e 1,3 vezes pelo método ORAC) [56].

5.2.3. *Ação antioxidante pelo método ABTS* $^{\bullet+}$

O método de sequestro do radical $ABTS^{\bullet+}$ consiste em um método generalista das classes de antioxidantes, sendo capturado tanto por antioxidantes de caráter hidrofílico quanto lipofílico [124],[150]. Os testes de atividade antioxidante em sucos das espécies estudadas por US apresentaram um aumento significativo de compostos bioativos quando aumenta a potência do US. Um aumento significativo (p – valor < 0,05) de ABTS foi observado nos sucos de AB e CB, o que não foi observado em MM, o que pode estar relacionado à considerável liberação de compostos fenólicos no interior do suco devido as bolhas criadas no processo ultrassônico isso para AB e CB. A **Figura 19** mostra ação antioxidante pelo método de ABTS para os sucos de AB, CB e MM e as diferenças estatísticas significativas.

Figura 19: Efeito do potencial antioxidante dos sucos de AB, CB e MM tratados por US e pelo método ABTS.



Os resultados estão apresentados como média e desvio padrão. (a – k) Médias com a mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Duncan (valor de $p < 0,05$).

Fonte: Autor, 2023.

Entre os tratamentos com US dos sucos das espécies AB e CB, houve aumento da atividade antioxidante à medida que a potência ultrassônica foi variando de 0 a 80%. Quando realizado o tratamento a US 60% da potência foi aumentando o potencial antioxidante diferindo estatisticamente das outras potências (20, 40 e 80%) e quando comparado ao controle.

Esse resultado indica que o US pode melhorar a atividade antioxidante dos sucos de AB e CB sob condições específicas. Diferentemente destes resultados, de minifig [42]. O qual observaram que a sonicação com alta potência 80% por menor tempo para ação antioxidante foi semelhante ou inferior ao controle, entretanto, esse autor utilizou HIUS (tratamento térmico e tratamento por ultrassom).

Portanto, essa diferenciação deu-se com um tempo de 10min, diferentes às usadas no presente estudo, sendo uma possível justificativa para essa diferença, além de ser vegetal com matriz de caraterísticas diferentes. Mas, corroborando com estudos de Carvalho e colegas [3], na extração de compostos bioativos nos sucos de buriti aplicando ultrassom, os autores observam que a sonicação com alta potência e com banho de gelo de 10min para diminuir o

superaquecimento da sonda ultrassônica foi melhor para extração de compostos de interesse (carotenoides).

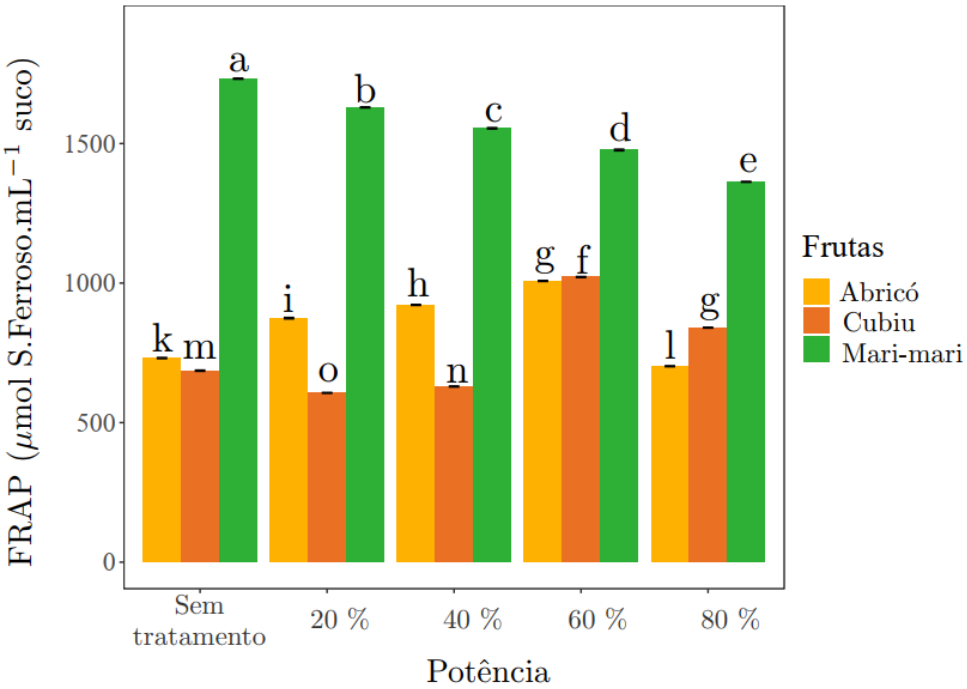
Outrossim, a técnica de US pode ser considerada promissora e rotineira para extração de compostos bioativos em sucos, quer eles sejam fibrosos ou de outras caraterísticas da matriz vegetal. O suco da espécie MM, mostrou-se diferente estatisticamente quando a potência foi variando, sendo que a sem tratamento apresenta valores estatisticamente superiores (2028.55 ± 0,78 μM/ TE) quando comparado as amostras tratadas por US (20, 40, 60 e 80%) respetivamente. Isso pode estar associado às caraterísticas da matriz do próprio suco, e os compostos majoritários, por ser um fruto não rústico e fibroso. A potências aplicadas podem aumentar ou diminuir a ocorrência de liberação de compostos bioativos na matriz celular da amostra [43].

5.2.4. *Ação antioxidante da redução férrica*

A atividade de redução de ferro são medidas que se avaliem a capacidade do ferro em neutralizar os radicais livres, que são moléculas instáveis que podem causar danos as células e ao DNA [134], [151]. O suco de MM (sem tratamento) apresentou valores significativamente altos (1732,37 ± 0,30 μmol ferroso. mL^{-1} suco) ($p < 0,05$) na **Figura 20,** pode se observar que o ultrassom afetou significativamente todos os compostos bioativos do suco do MM na potência de US 80 % (1363,3 ± 0,4).

Um comportamento diferente foi relatado em uma mistura de suco (maçã -cenoura) onde o ultrassom e os tratamentos térmicos não afetaram a atividade antioxidante pelo FRAP [152]. Isso pode ser interpretado pela diferença da matriz do material, como também por ter sido aplicado o tratamento térmico a esses materiais.

Figura 20: Efeito do potencial antioxidante dos sucos de AB, CB e MM tratados por US pelo método de Folin – Ciocaltou por redução férrica.



Os resultados estão apresentados como médica e desvio padrão. (a – k) Médias com a mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Duncan (valor de $p < 0,05$).

Fonte: Autor, 2023.

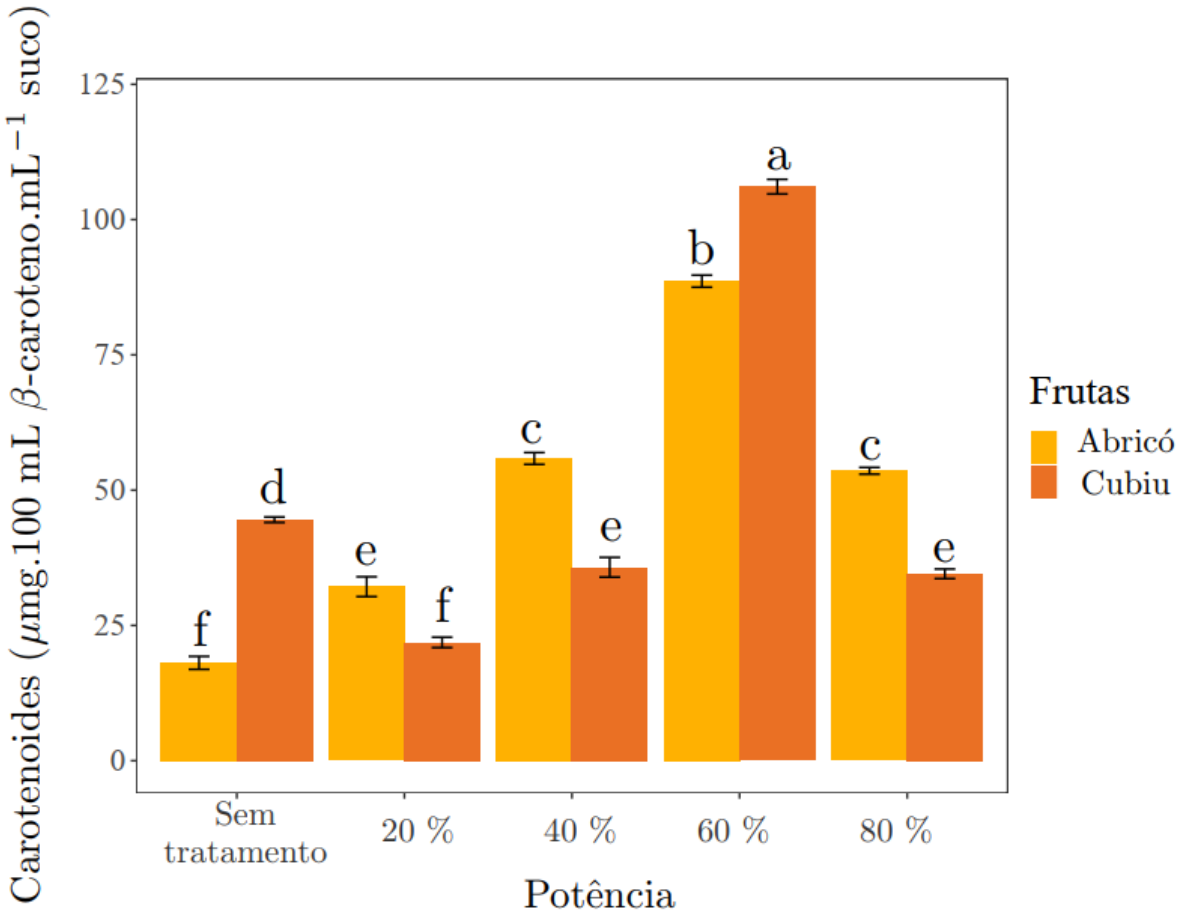
Os resultados do FRAP, para sucos de AB e CB apresentaram valores significativamente altos (97,77 e 1022,00 ± 2.94 µmol Sulfato Ferroso.mL^{-1} suco) com potência ultrassonica de 60% respetivamente. Em comparação com o restante das amostras sonicadas de 20, 40 e 80%. O que pode estar relacionado à maior capacidade necrófaga dos polifenóis [153]. Quando as amostras são tratadas pela técnica de ultrassom, ocorre uma organização molecular das pectinas que poderia impedir a absorção de fenóis [153],[54], [152], [153]. Esses resultados podem ser relacionados pelo conjunto de concentração de carotenoides, que reagem como agentes quelantes influenciando na redução de radicais livres e íons de ferro [154].

5.2.5. *Teor de carotenoides*

Os carotenoides são pigmentos responsáveis pelas cores que correspondem ao range do amarelo, laranja e vermelho vibrantes das frutas e vegetais. Esses compotos vitais para saúde humana, tem papel preponderante desde servindo como provitamina A (na forma de ß-caroteno, α-caroteno, antioxidantes, dada a sua função imunológica e do sistema metabólico, cardiovascular e regulador de proliferação diferenciação do sistema celular no seu todo [129].

Os valores relatados sobre a bioacessibilidade dos carotenoides provenientes de frutas e vegetais diferem em grande média. Os resultados sobre o efeito do tratamento por US nos carotenoides dos sucos das espécies AB (*Mammea americana) e* CB *(Solanum sessiliflorum)* são apresentados na **Figura 21**.

Figura 21: Efeito da potência do US no conteúdo total de carotenóides de suco das espécies AB e CB.



Os resultados estão apresentados como média e desvio Padrão. (a – d) Médias com a mesma letra na mesma coluna não são significativamente diferentes de acordo com o teste de Duncan (valor de $p < 0,05$).

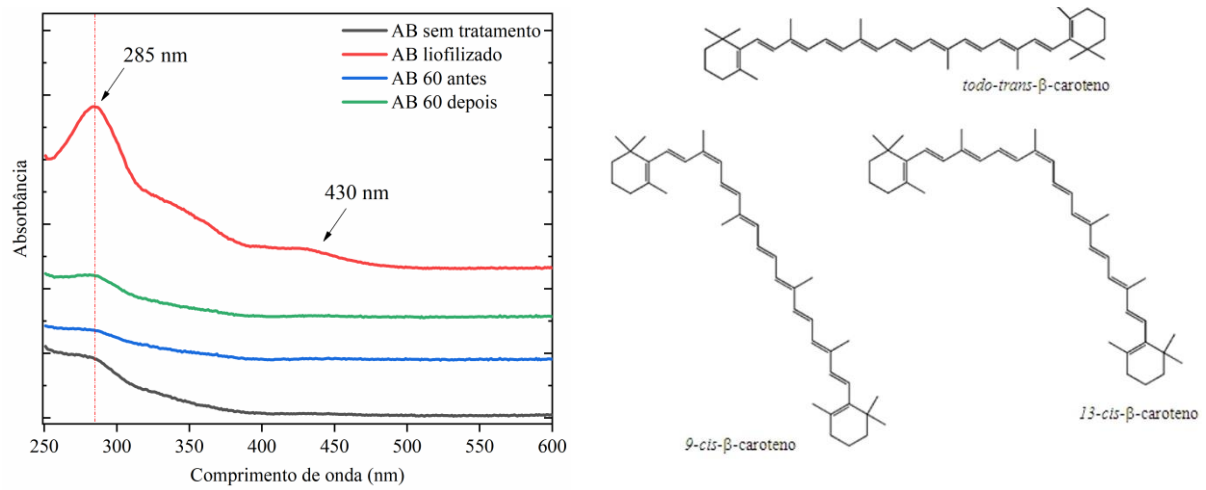
Fonte: Autor, 2023.

Um aumento significativo (valor $p < 0,05$), **Figura 21** foi encontrado em torno de (146 e 200 µg/mL equivalentes de β-caroteno) para sucos de AB e CB, na potência de 60%, respetivamente. Confirmando que a potência de 60% pode ser considerado um ponto ótimo para a extração e liberação de compostos fenólicos (carotenoides) em sucos de frutas considerados fibrosas. A liberação de compostos a 60% de US corrobora com estudos anteriores [129], [155], que confirma o aumento de concentração de carotenoides na potência de 60% de US, confirmando que altos níveis de tratamentos por US podem induzir a decomposição química dos carotenoides. Este fato também foi observado em estudos de US em sucos de buriti [3].

5.3.Caracterização espectroscopia de Ultravioleta visível (UV-Vis)

Utilizou-se a técnica de absorção UV-Visível para averiguar as principais transições eletrônicas dos sucos liofilizados, com a potência de 60% antes e depois da digestibilidade *in vitro*. Essa foi definida para a caracterização de com base nos resultados das análises físico-química. A **Figura 22** apresenta os espectros de absorção de absorção UV-Vis do suco abricó, AB- sem tratamento, liofilizado, tratados com ultrassom 60% e analisados por digestibilidade *in vitro* fase gástrica e intestinal.

Figura 22: apresenta os espectros de absorção UV-Vis dos sucos de Abricó liofilizado, tratados por ultrassom.



Curva de absorção UV-Vis do suco abricó, AB - sem tratamento, liofilizados, tratados com ultrassom 60% e analisados por digestibilidade *in vitro* fase gástrica e intestinal.

As curvas de absorção em AB sem tratamento (cor preto), liofilizado (vermelho) antes sonicado a 60% (curva azul) depois (cor verde), respectivamente.

Através desta análise, foi possível identificar a presença de curvas de absorção decorrentes de transições eletrônicas em todos os tratamentos avaliados. Destacam-se as bandas características na faixa de 285 e 430 nanômetros (nm). É notável que a banda em 430 nm apresenta uma diminuição de intensidade ao longo do processo. Em relação à banda característica em 285 nm, associada ao suco (azul) sonicado a 60%, observou-se uma leve mudança para 283 nm [151]. Esses resultados sugerem variações na estrutura molecular dos compostos presentes nos tratamentos estudados, potencialmente influenciadas pelo processo de sonicação.

Na faixa de 285 nm, identificaram-se bandas caraterísticas que possivelmente estão relacionadas à presença de compostos como polifenóis e carotenoides no suco. Os polifenóis são conhecidos por apresentarem transições eletrônicas devido aos elétrons π em estruturas de anéis aromáticos[117]. A transição π – π* é comum em muitos polifenóis e geralmente ocorre na faixa de 240-320 nm. A banda encontrada no suco abricó do presente trabalho está em 285 nm, pode estar associada a excitação de elétrons de um orbital π para um orbital π*.

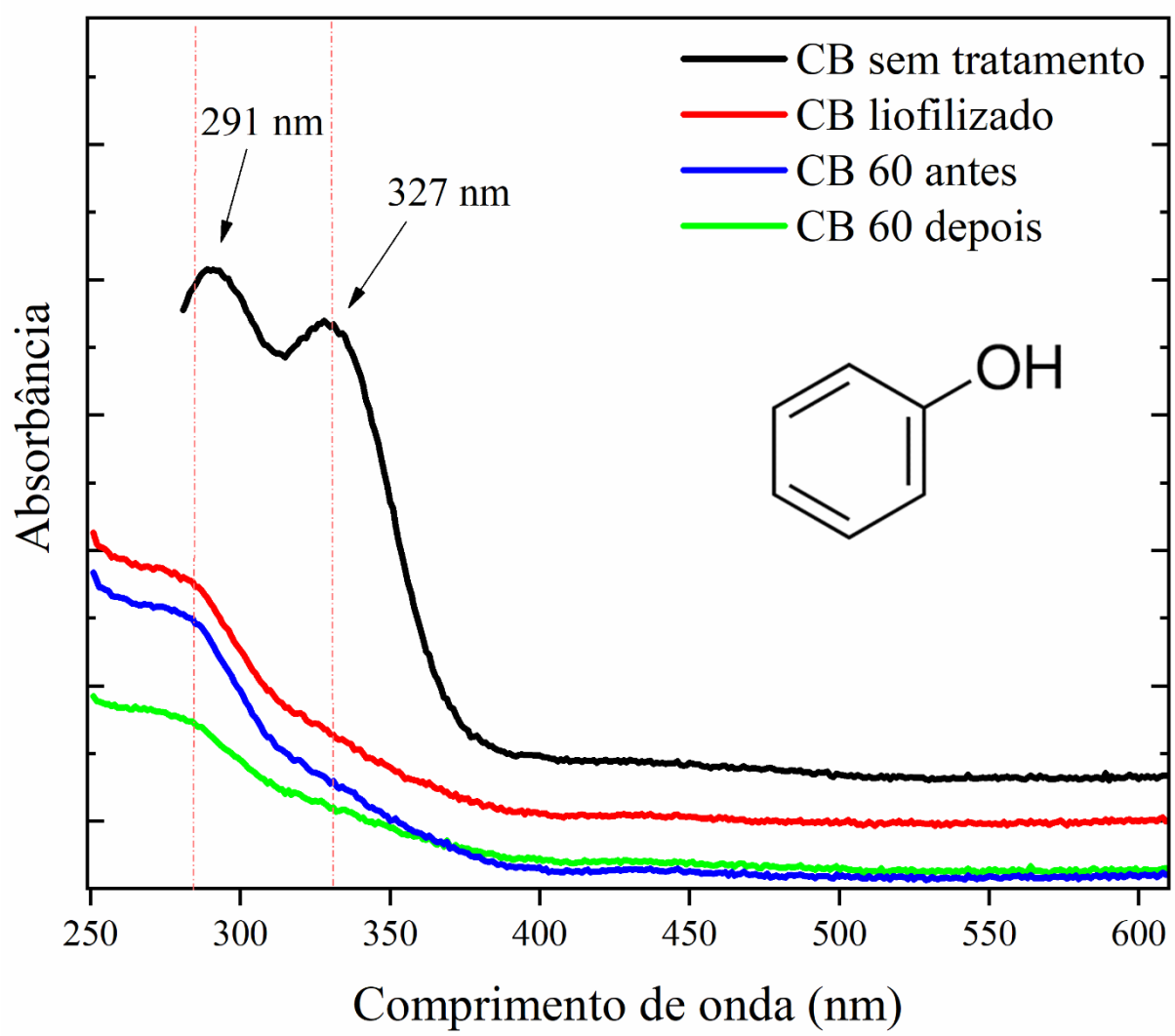
Além disso, na **Figura 22** (linha preta), nota-se uma banda na região de 430 nm, que é característica dos carotenoides e está situada na faixa entre 400 e 500 nm, conhecida por conter sinais desses compostos. A transição principal, SO – S_2, está relacionada à excitação de elétrons de um estado fundamental (SO) para um estado excitado (S2) [112][152].

É importante ressaltar que as regiões de absorção podem variar dependendo do tipo de polifenol ou carotenoide, bem como das condições do ambiente da matriz do material ou do tratamento por ultrassom e liofilização sobre o suco. Ademais, por meio dessas transições eletrônicas, foi possível compreender a coloração e as propriedades antioxidantes do suco.

Na **Figura 23,** são mostrados as curvas de absorção no UV-vis para o suco de CB sem tratamento, mostra banda de absorção na região de 326 nm em solução diluída, pode ser atribuído às transições π - π* em anéis conjugados de compostos aromáticos que pode corresponder a forma monômera relacionada a cromóforos específicos presente na matriz do suco, sendo os mais prováveis os polifenóis que caracterizam a amostra do presente trabalho [113].

Há relatos de absorção da transição carotenos – π* [156], na mesma faixa de transição do ß – caroteno, embora as transições típicas dos carotenoides ocorram em comprimentos de onda mais longos, na faixa de 400 – 500 nm , alguns carotenoides podem apresentar absorção em torno de 326 - 327 nm, como é o caso para curva em destaque, isso pode ser devido a modificações em suas estruturas [156]–[158].

Figura 23: apresente os espectros de absorção UV-Vis dos sucos de cubiu liofilizado, tratados por ultrassom.



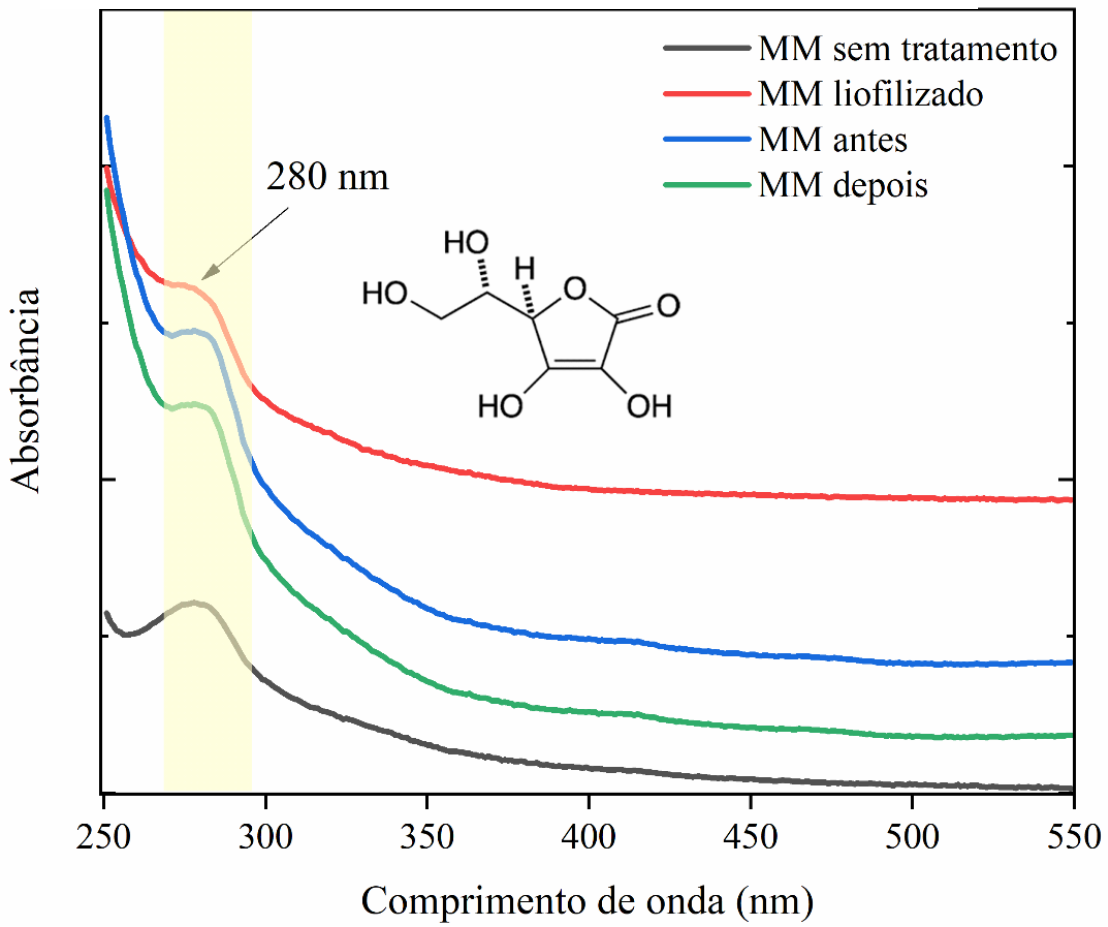
Espectros UV-Vis do suco cubiu, foram identificados os comprimentos de onda. Verde CB sem tratamento, vermelho CB liofilizado, preto CB antes

Na faixa de 291 nm, foram identificadas bandas características das transições do material, atribuídas às transições π – π* da estrutura fenólica e de anéis conjugados de compostos fenólicos. Essas transições ocorrem quando elétrons de orbitais π são excitados para

orbitais π* em sistemas conjugados de duplas ligações, presentes em muitos compostos fenólicos [155], [156]. É comum encontrar quantidades significativas desses polifenóis em diversos sucos de frutas, os quais apresentam cadeias conjugadas de duplas ligações. O que não foi diferente nesse estudo. Este achado está em consonância com pesquisas anteriores de Moura e colaboradores [131], [157], nas quais foram identificadas bandas semelhantes de polifenóis. Portanto, essa similaridade era esperada, considerando que se trata de uma planta com características em comum com o cubiu. Além disso, foi possível observar no espectro uma banda na região de 327 nm, característica de flavonoides e polifenóis que contêm compostos específicos, possivelmente aromáticos e com cadeias conjugadas [108][154].

A técnica UV-Visível foi empregada para investigar as principais transições eletrônicas no suco da espécie *Cassia leiandra* Banth, popularmente conhecida como Mari-mari. As curvas de absorção do suco Mari-mari são apresentadas na **Figura 24**, representando: sem tratamento (preto), liofilizado (vermelho), antes (azul), e depois (verde).

Figura 24: apresenta espectros UV-visível do suco mari-mari.



Os espectros estão listados e identificados em: preto MM sem tratamento; vermelho - MM liofilizado, azul - MM antes da digestibilidade *in vitro* e verde – MM depois da digestibilidade.

O espectro do MM sem tratamento e após a digestão exibe uma banda de absorção na região de 277 nm em soluções diluídas, que corresponde a diversos compostos, incluindo compostos aromáticos, polifenóis, flavonoides ou outros cromóforos contendo anéis conjugados [43]. Podendo estar relacionadas as transições electrónicas específicas, possíveis transições podem incluir transições π - π* ou n - π* em sistemas conjugados de dupla ligação ou orbitais não ligados [43][19], [61].

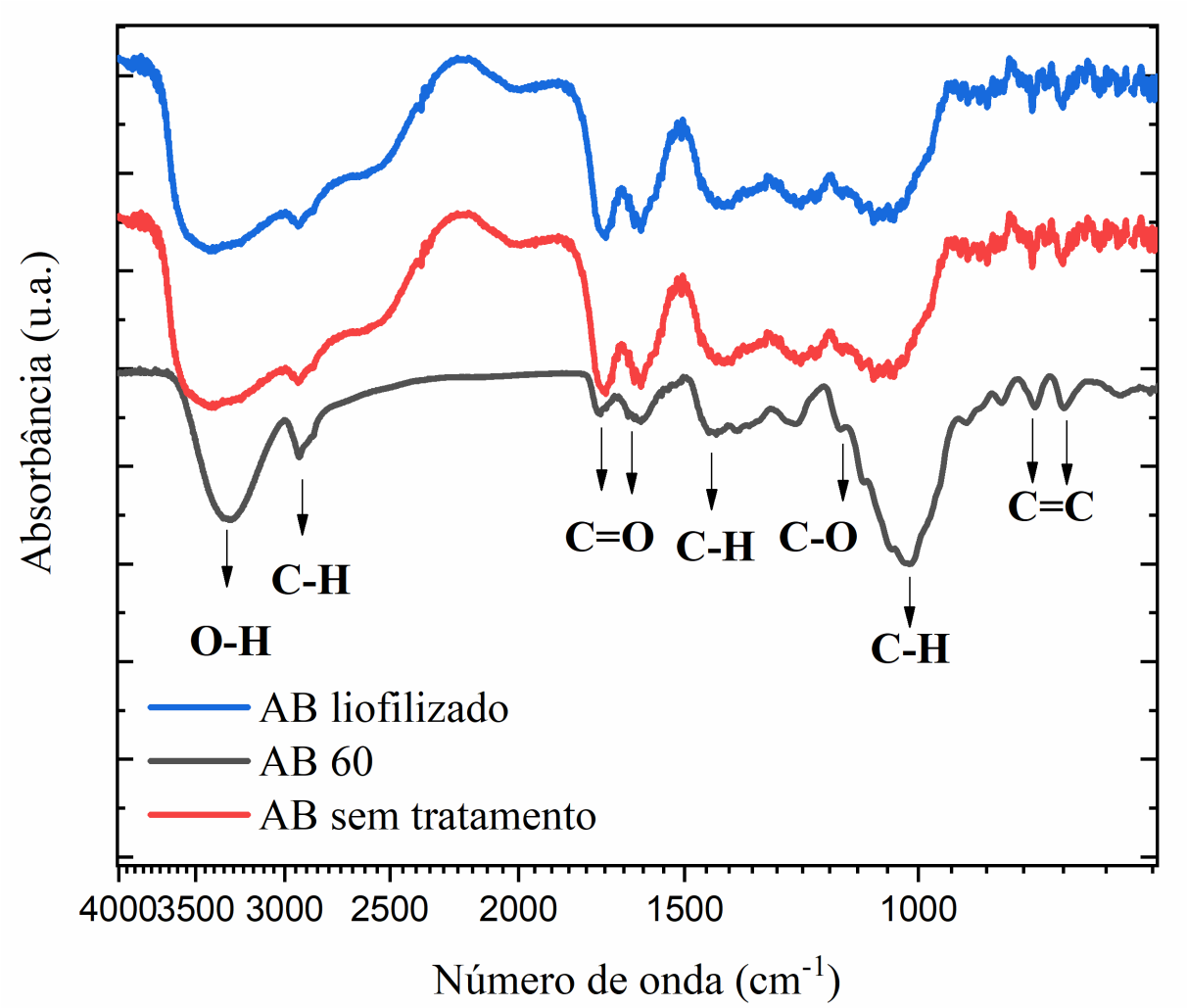
As curvas de absorção do MM antes da digestão exibem bandas de absorção na região de 276 nm em soluções diluídas, que podem corresponder à forma monomérica dos grupos de açúcares, ácidos e pigmentos, devido à presença de outros componentes na matriz do suco [43], [54], [109]. A absorção indica a presença de compostos específicos na amostra, possivelmente devido ao cisalhamento das ondas que colapsam na matriz intracelular do suco.

5.4. Caraterizacao espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier com modulo ATR (FTIR-ATR)

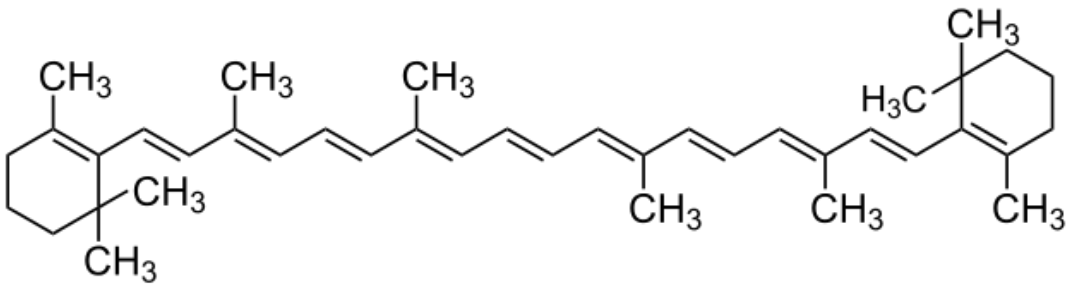
A espectroscopia FTIR é sensível por dizer à presença de grupos funcionais como hidroxila, carboxila, ésteres e amidas na molécula. Nesse caso, pode fornecer informações sobre grupos funcionais dos compostos e mudanças no padrão de ligação da combinação dos mistos, o que é valioso para estudar o mecanismo de interação entre carotenoides, flavonoides e polifenóis [156][19].

A **Figura 25** apresenta os espectros de infravermelho por transformada de Fourier para os sucos de AB. Onde AB liofilizado (azul) AB 60 (cor preta) e AB 0 sem tratamento (vermelho). Com a figura, foi possível identificar regiões de maior ou menor vibrações em relação as principais constituintes da matriz da amostra (suco do abricó). Além disso, foi possível observar bandas relacionadas aos flavonoides, carotenoides, possíveis regiões vibracionais de classes de compostos de vitaminas A, C e E [113].

Figura 25: Espectros de FTIR registrados na faixa de 4.000 a 680 cm^{-1} para amostras de AB sonicado e liofilizadas.



Fonte: Autor, 2023.



Molécula de β-caroteno percursora da vitamina A.

Fonte: Barros et al (2024)

Os espectros estão listados e identificados em: preto AB60; vermelho - AB sem tratamento e cor azul - AB liofilizado antes e depois da digestibilidade *in vitro*.

O resultado da análise de FTIR mostra que foi possível identificar bandas relacionadas à modos vibracionais para - OH em torno de 3436 cm^{-1}, o que pode estar relacionado a presença de água associada a camada livre de grupos hidroxila na cadeia da matriz do material [159]. A principal região de interesse em compostos ricos em carotenoides e flavonóides apresentam bandas de absorção no intervalo de 2000 a 600 cm^{-1}, que são atribuídas a vibrações de ligações C-O, C=C, C-H, O-H e C-O-C [160]–[162], onde geralmente estão localizadas as principais faixas caraterísticas da amostra AB.

Várias bandas proeminentes foram mostradas na região do número de onda de 1725 – 1051 cm^{-1}, as bandas identificadas em 1725 e 1233 cm^{-1} das amostras de AB liofilizado, AB 0 e AB 60 pode ser atribuída a presença das vibrações do estiramento C=O de β-caroteno, as bandas na região 1153 cm^{-1} estão relacionadas as vibrações do estiramento C-O, bandas situadas na região 917 cm^{-1} estão relacionadas ao dobramento das ligações C-C, C-O [156], [158].

A região de 1408 cm^{-1} correspondente ao estiramento simétrico da ligação C-H, as bandas localizadas 861 a 708 cm^{-1} correspondem ao dobramento para a ligação β-criptoxantina C=C do vinilideno [163].

As bandas na região 861, 917 e 708 cm^{-1} do AB 60 estão mais evidentes devido a intensidade quando comparado aos do AB0 e liofilizado na mesma região dos espectros, isso pode estar relacionado ao cisalhamento das ondas ultrassónicas sobre a matriz intracelular do suco. Além disso, estudos apontam para a técnica de ultrassom como sendo acentuada para liberação de compostos bioativos em frutas rústicas e essa liberação pode ser que provoque essas vibrações moleculares na matriz do material.

Outrossim, as bandas de 3340 a 3334 cm^{-1}, nas amostras de AB liofilizado e sem tratamento diferem com a do AB 60, sendo que estão em regiões próximas, pode ser devido a sublimação da água por liofilização e a outra (AB sem tratamento) por não ter passado pelo processo de ultrassom [157], [158]. Estudos que possam ser assemelhados com esse, ainda são escassos, fazendo com que seja promissor e convidativo a serem desenvolvidas mais pesquisas de frutas amazônicas, dessas espécies e que se apliquem técnicas como de FTIR para dar a conhecer as possíveis vibrações moleculares que ultrassom tenha causado.

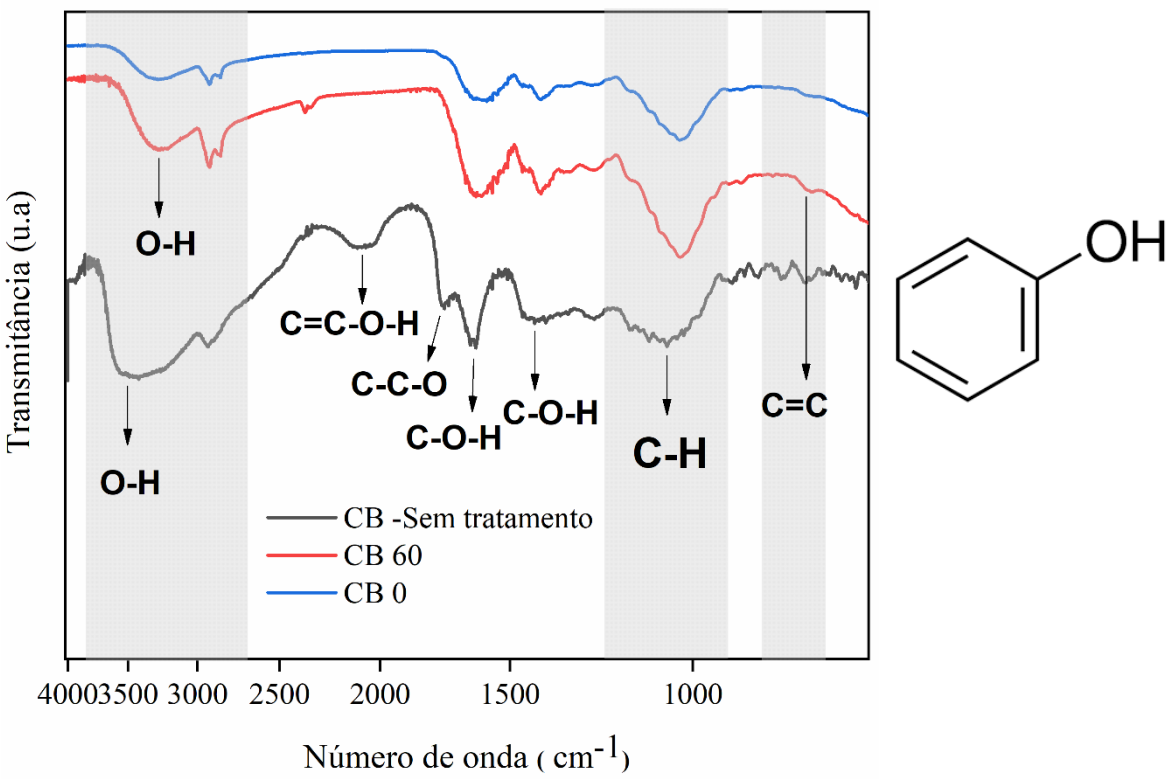
Tabela 7: Modos de vibração dos espectros FTIR de amostra de AB liofilizado, sonicado.

Número de onda (cm-1)	Modos Vibracionais	Referência
3436	Grupos O-H	[159],
3340	Vibração de alongamento O-H	[158][118]
3334	Estiramento C-H	[118], [119]
2930/2930	Vibração de alongamento C-H	[158], [164]
2926	Estiramento C-H	[146],[147],[14]
1725/1725/1725	Estiramento C=O de um β-caroteno-5,6-epóxido	[146],[147],[14]
1408/1408/1408	Estiramento C-H	[117], [164]
1233/1233/1233	Estiramento C-O	[117]–[119], [164]
1153	Estiramento C-O de flavonas	[117]–[119], [164]
917	Dobramento C=C	[117], [118]
861	Dobramento C=C vinilideno	[147],[148],[15]
708	Dobramento C=C	[146],[147],[15]

A **Figura 26,** mostra as vibrações de FTIR para amostra de suco de CB-sem tratamento com (cor preta), CB-60 (vermelho) e CB0 (azul). Ainda nessa figura, pode-se facilmente visualizar bandas de dobramento, vibrações de alongamento ou estiramento de grupos funcionais O-H que podem ser atribuídas a unidade do material, mas também pode ser atribuído a água que a matriz da amostra possa ter na maioria das vezes devido ao tipo da amostra (suco).

Além disso, ela fornece visualizações de informações de bandas que podem ser atribuídas as caraterísticas de ligações flavonas, trepenos, caroteos, α e β – carotenos que podem ser atribuídos com majoritários da amostra [119], [156].

Figura 26: Espectros de FTIR registrados na faixa de 4.000 A 680 cm^{-1} para amostra CB liofilizado e tratado por ultrassom



Espectros de CB, preto CB sem tratamento, vermelho CB sonicado a 60 % e azul CB sem tratamento.
Fonte: Autor, 2023.

Para o espectro de infravermelho do AB é possível constatar a presença das bandas características do material, uma banda na região 3476 cm^{-1}, correspondente ao estiramento O-H, correspondendo a vibrações de estiramento do grupo hidroxila presentes da água sobre o material, ou seja, devido a humidade do meio, compostos fenólicos e ácidos orgânicos [119].

A banda em 3273 cm^{-1} pode ser representa o modo de vibração à alongamento C-H, as regiões de vibrações entre 2901 e 2062 cm^{-1} é caracterizada principalmente por modos v (vibracionais) absorventes nesta região, incluindo C-O-H, C=C, C-H, C=C-O-H da ligação flavona[116], e mostrou diferenças perceptíveis entre CB sem e com tratamento, essas vibrações podem estar associadas a quebra da matriz do suco pelo processo de ultrassom e a temperatura aplicada. Múltiplas bandas também podem ser atribuídas as vibrações de estiramento de C-O de α-zeaxantina, mas essas bandas de absorção foram sobrepostas pela banda de absorção de água [165].

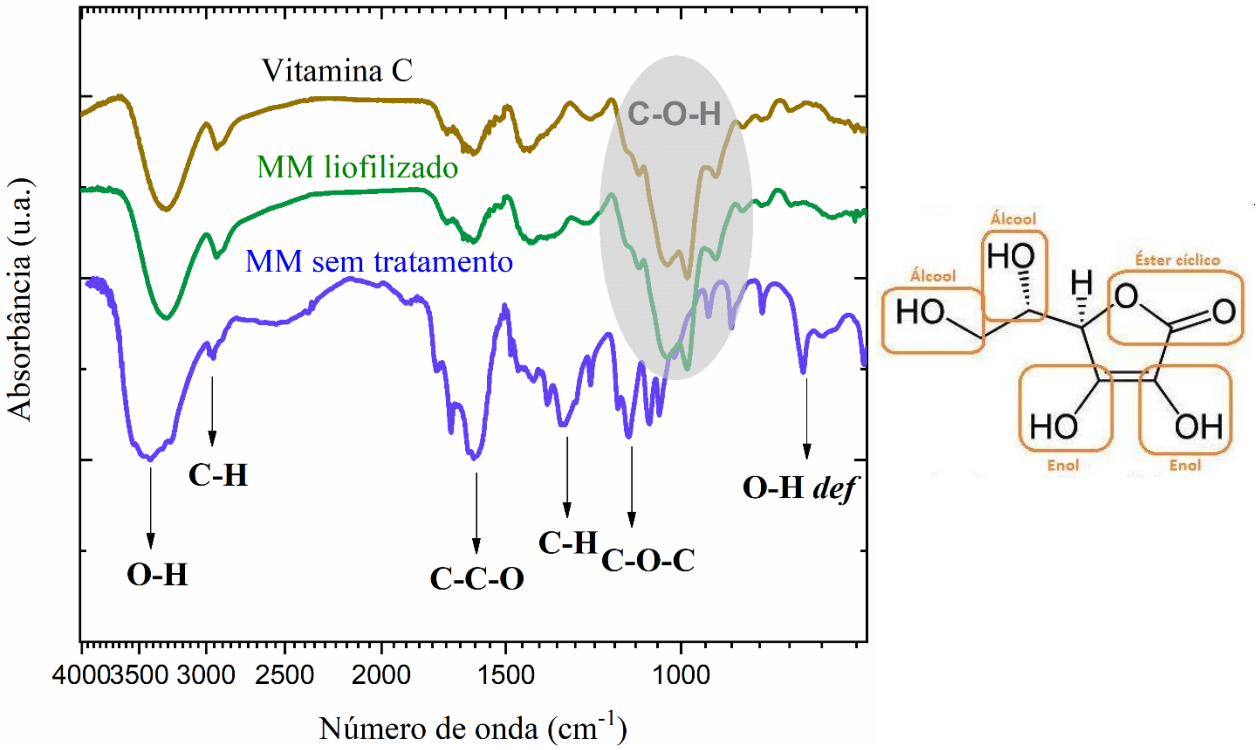
A banda em torno de 1603 - 1681 cm^{-1} indica a presença do grupo carbonila (C=O) observado na luteína dos α e ß – carotenos e isso pode estar relacionado pela forma como foi tratada a amostra. Assim, para mais detalhes da análise das bandas para o tratamento realizados são apresentados resumidos na **Tabela 8**.

Tabela 8: Modos de vibração dos espectros FTIR de amostra de CB liofilizado, sonicado.

Número de onda (cm^{-1})	**Modos Vibracionais**	**Referência**
3476	Grupo O-H da umidade	[124]
3281	Estiramento O-H	[166]
3273	Alongamento C-H	[159]
2901	Estiramento C-O-H de ionona	[159], [167]
2889	Estiramento C=O grupo carbonila	[23], [145]
2882	Estiramento de ligações C-H a linfáticos	[157]
2344	Deslocamento C=C	[116]
2062	Deslocamento C=C-O-H	[157]
1681	Estiramento C-C-O	[53], [116], [118]
1603	Flexão C-O-H	[168]
1404	Alongamento C-O (COH-)	[151]
1255	Alongamento/flexão C=O	[168]
1250	Cadeias de hidrocarbonetos	[168]
1072	Estiramento C=C aromático	[157], [158], [168]
1045	Estiramento C-H de grupo metil	[169]
1040	Alongamento C-O(COH-)	[158], [168]
774	Dobramento C=C	[170]
647	alongamento C-C-C	[118]

A **Figura 27,** apresenta os perfis de banda do FTIR para as amostras do suco de MM liofilizado, US e sem tratamento.

Figura 27: Espectros de FTIR registrados na faixa de 4.000 A 680 cm^{-1} para amostra MM liofilizado, MM 0 e vitamina C.



As vibrações de FTIR para amostra de suco de MM, sem tratamento, liofilizado e Vitamina C

Fonte: O autor (2023).

Para bandas de infravermelho do MM liofilizado, MM 0 é possível constatar a presença das bandas relacionadas a vibração -OH em torno de 3414 a 3303 cm^{-1}, que podem ser atribuídas as vibrações de ligação Sp^2 e SP^3. As bandas 2946 e 2927 cm^{-1} foram atribuídas as vibrações de alongamento -CH simétricas e assimétricas do grupo metil, respetivamente. Bandas essas que podem ser caraterísticas das proteínas e vitaminas, sendo característico desse fruto. Além disso, foi feita a análise com vitamina C como controle para MM, visto que a MM deu melhor atividade sem passar por US.

A banda da região entre 1429 cm^{-1} representou a vibração de dobramento, estiramento do grupo metil. De forma semelhante, relatórios anteriores [34] mostrando vibrações de estiramento de (-C-C), no espectro atual, há uma possibilidade de haver um forte banda de absorção em torno de 1896.

Assim, as análises das bandas para o tratamento realizados são apresentados resumidos na **Tabela 9.**

Tabela 9: Modos de vibração dos espectros FTIR de amostra de MM liofilizado, sonicado.

Número de onda (cm-1)	Modos Vibracionais	Referência
3414	Estiramento O-H da umidade da engeletina	[43]
3303/3303	Estiramento O-H	[34], [118]
2946	Vibrações das ligação C-H	[157]
2927/2927	Estiramento C-H	[34], [159]
1759	Dobramento C-H	[119]
1726/1726	Estiramento C=O	[168]
1429	Dobramento CH_3	[116], [168]
1416	Dobramento C-H grupo metileno	[117]
1412	Alongamento C-C-O; C=O; N-H	[119]
1038	Estiramento das ligações C-O-O	[53]
928	Dobramento C=C	[34]
922	Dobramento C=C-CH	[116], [168]
728	Dobramento C=C	[169]

Os espectros infravermelhos bandas de absorção associadas ao seu grupo amida característico estão sob modos no plano são devido ao alongamento C=O, alongamento C-N, alongamento N-H e flexão O-C-N [116]. Corroborando com bandas caraterísticas associadas ás vibrações moleculares, as bandas das regiões entre 1726 à 1759 podem ser atribuídas ao grupo de flavonoides como *astilbin* sendo compostos polifenólicos, e a faixa de absorção típica se dá em C=O (carbonila) em anéis fenolicos [118], [156] .

5.5. Correlações e Análise de componentes principais

A análise de componentes principais (PCA) é uma técnica estatística multivariada amplamente utilizada que dá uma visão simplificada dos pontos estudados preservando a variação mais significativa presente no conjunto de dados [56]. A correção entre composição centesimal e minerais, bem como a PCA desempenha um papel fundamental quando aplicadas a análises de antioxidantes na interação e visualização das relações entre várias variáveis correlatas.

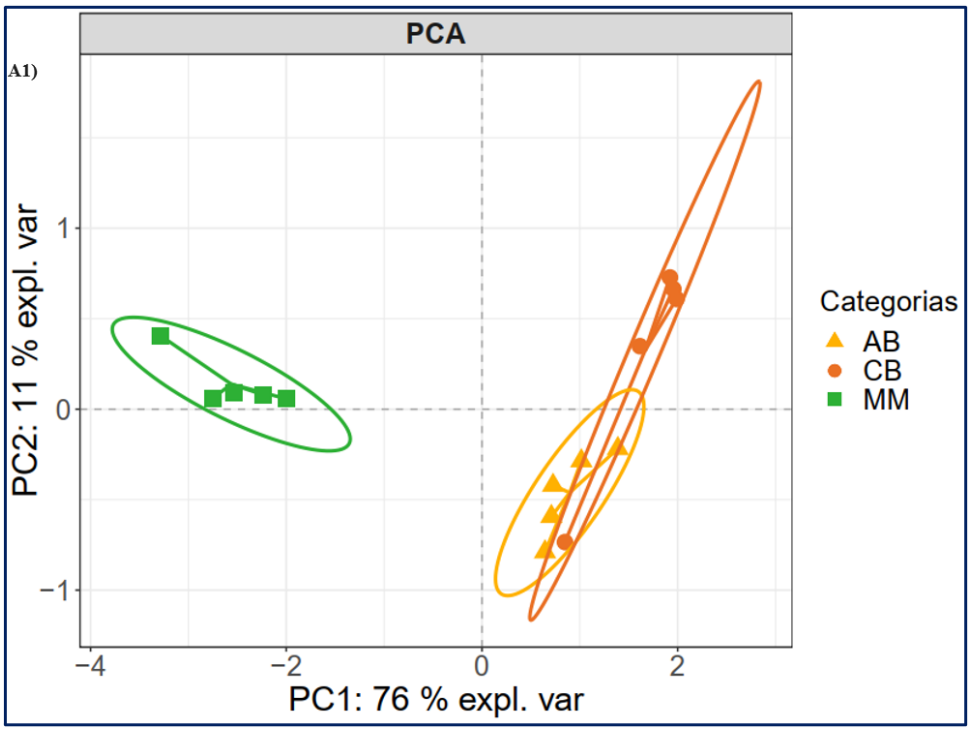
Por essa razão, foi pertinente realizar a análise de PCA em antioxidantes bem como utilizar um método de correção, pois permite uma abordagem e contribuiu na interpretação do conjunto de dados.

5.5.1. Análise dos componentes principais dos ensaios antioxidantes

A análise de componentes principais é uma ferramenta fundamental na análise estatística, fornecendo uma medida objetiva da relação linear entre variáveis, além disso, sua importância transcende várias disciplinas, contribuindo para a compreensão e interpretação de padrões e associações nos dados que apresentam múltiplas variáveis.

A visualização dos grupos originais no arranjo dos três componentes principais (PC1 x PC2) é apresentada na **Figura 28 A1.**

Figura 28: Gráfico de carregamento dos componentes principais.



PC2 Análise de componentes principais dois que corresponde a (11%) e análise componentes principais um PC1 – que corresponde a (76%); categorias AB, CB e MM em círculo, triângulo e quadrado sobrepostos.

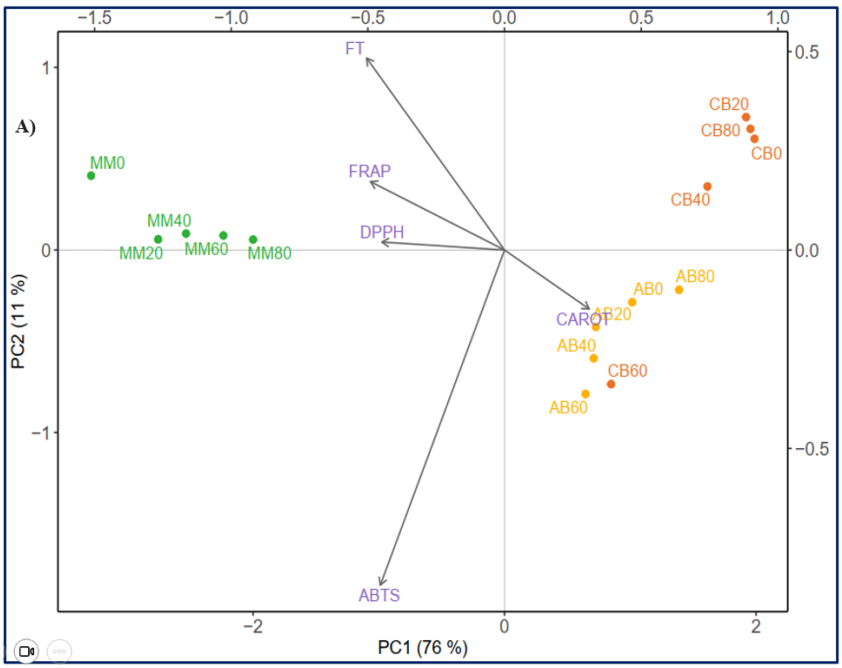
Fonte: Autor, 2024

O PC1 Foi positivamente relacionado as amostras AB e CB, referindo ao agrupamento que elas possuem (sucos AB e CB) e MM pode-se observar uma diferenciação entre elas. As amostras de MM se distinguem da AB e CB devido à presença de alguns componentes em sua

estrutura, como por exemplo, proteínas, vitaminas e compostos bioativos, enquanto as de AB e CB apresentam um maior teor de fibras e carotenoides em sua composição, indicando uma semelhança entre elas. Essa semelhança pode ser atribuída ao fato de pertencerem à mesma família, com muitos de seus componentes, como fibras, flavonoides, compostos bioativos e carotenoides, compartilhando a mesma matriz vegetal. Um estudo anterior de Souza e colaboradores [3] também relatou sobre índices de correlação de Pearson entre os diferentes métodos de atividade antioxidante tiveram forte relação entre compostos fenólicos e atividade antioxidante os coeficientes elevado em sucos de Açaí e Buriti.

A análise de componentes principais dos ensaios antioxidantes (DPPH, ABTS, FRAP e Carotenoides) e as diferentes potências (20, 40, 60 e 80%) respectivamente, nos sucos AB, CB e MM são mostrados na **Figura 29.** Explicando o posicionamento de agrupamento entre AB e CB para PC2 76% e o agrupamento de MM em 11% da variação total em conjunto de dados foi feita para ilustrar, a semelhança ou diferenciação que existe entre elas.

Figura 29: Gráfico de carregamento dos componentes principais entre ensaios antioxidantes e amostras de AB, CB e MM nas diferentes potências.



PCA1 (76 %) -Análise de componentes principais um correspondente a 76 %, seguido de Análise de componentes principais dois em torno de 11%. - PCA2 (11%). Ensaios de sequestro de radiais livres DPPH, de eliminação de radicais livres ABTS, de redução férrica, Fenóis totais todos correlacionados por AB, CB e MM em diferentes potências.

Fonte: Autor, 2023.

Por sua vez, carotenoides (variáveis correlacionadas negativamente com PC2) representam a ilustração mais evidente do potencial antioxidante do suco AB 60,40,20, 0 e 80 que está localizado no intervalo de 0 a 2 do eixo do PC1 (76%) e forte correlação de CB60 para ABTS, representando a ilustração mais evidente do potencial antioxidante, localizado no eixo do PC1 no intervalo de -2 a 0. Além disso, os ensaios de DPPH, FRAP e FT correlacionaram-se positivamente com MM 0 à 80, mostrando claramente o potencial antioxidante existente em sucos, da mesma forma para as amostras do CB 40, 0, 80 e 20 tiveram a forte correlação positiva localizados no intervalo de 0 a 5 do PC2, evidenciado forte potencial em carotenoides.

Correlação na componente 2, entretanto nota-se uma clara divisão entre os tipos de fruta analisados, onde MM encontra-se do lado esquerdo da componente 1 (melhor correlação dos equivalentes em relação aos ensaios DPPH, ABTS, FRAP e FT), e as outras duas do lado direito, mostrando que o Ab e CB apresentaram maior teor de carotenoides. Além disso, (valores de pontuação positivos e negativos para PC-1 e 2) mostrando evidente a correlação que elas têm com os ensaios, confirmando a capacidade antioxidante dos sucos que é devido à presença de compostos fenólicos, vitamina A e C. Um estudo anterior de Moulick e colaboradores [34], também relatou a forte correlação dos ensaios FT, que a presença de polifenóis nas especiarias são os contribuintes supremos para suas propriedades antioxidante.

Assim, constatou-se a forte correlação de carotenoides para as amostras de AB 20, 40, 0, 60 e 80 seguidas de CB 60. Porém, foi evidente uma baixa correlação de CB 0, 20, 40 e 80, a correlação de AB e CB 60, confirma a existência majoritária de carotenóides nesses sucos, corroborando com liberação de compostos bioativos que pode estar associado a técnica de ultrassom, como visto em estudos anteriores de Dolma e colaboradores [156]. Também relatou que os flavonoides na polpa ou parte dela são contribuintes para suas propriedades antioxidante e forte presença de carotenos. Os sucos de AB e CB contem numerosos polifenóis como cardomomo (por exemplo, galato, rutina, cariofileno, luteína β – caroteno [13], [19], [34], [171], [172].

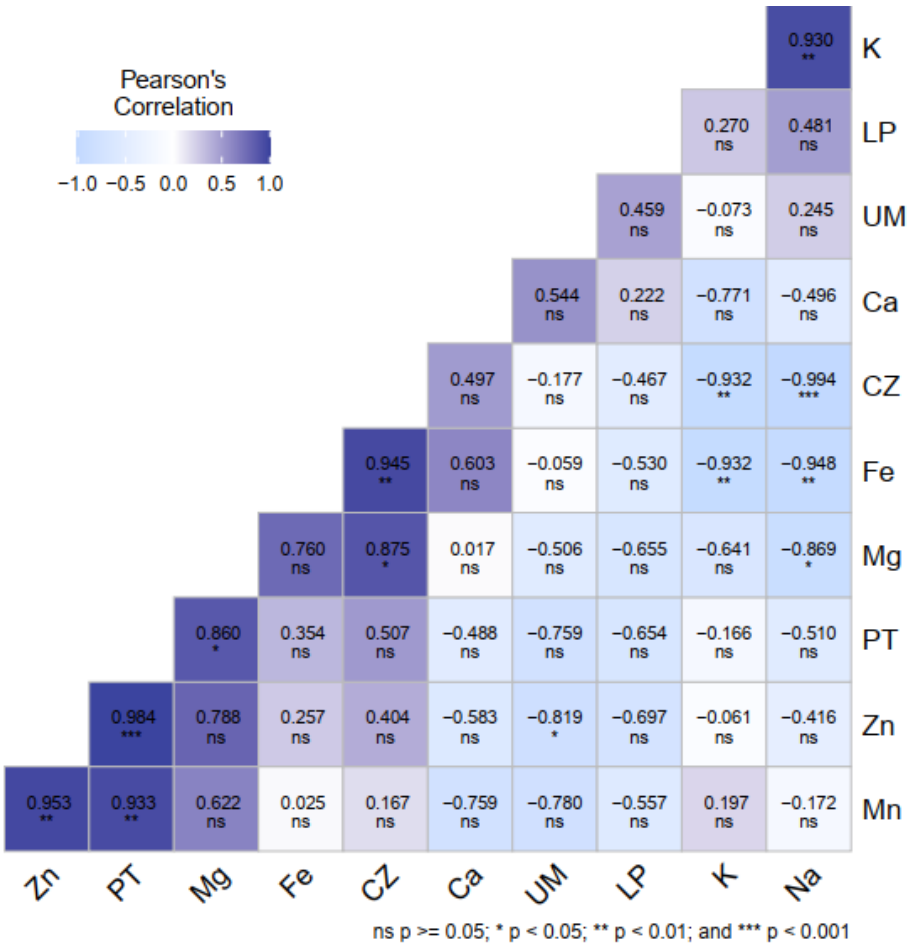
5.6. Correlação

A correlação é uma ferramenta essencial para perceber a relação entre variáveis, e junto a PCA auxilia na dimensionalidade e na identificação de padrões que fornecem as informações em um conjunto de dados multivariados complexos [34]. A correlação de Pearson é uma medida estatística que avalia a relação linear entre duas variáveis contínuas, e essa medida é

expressa como um coeficiente que varia de -1 a 1, +1, onde +1 indica uma correlação positiva perfeita e -1 indica uma correlação negativa perfeita, e por fim 0 indica ausência de correlação linear [173].

A correlação de Pearson auxilia na validação de vários modelos, indicando se as variáveis independentes estão relacionadas de maneira linear com a variável dependente, e nesse estudo ficou evidente a correlação entre a composição centesimal e mineral. Com os resultados obtidos, foi possível ver o nível de correlação existente entre composição centesimal e mineral das espécies AB, CB e MM. Os coeficientes de correlação de Pearson foram reportados na Figura 30, mostrando a relação linear entre as variáveis de composição centesimal (UM, CZ, LP, P) e minerais (Ca, Mg, K, Na, Cu, Fe, Mn, Zn) das amostras de AB, CB e MM.

Figura 30: Análise de correlação de Pearson entre composição centesimal e minerais.



As células não são significativamente diferentes pelo teste de Duncan (ns p-valor > 0,05). * P < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001. Zn (zinco), Ca (Cálcio), Fe (Ferro), Mg (Magnésio), Mn (Manganês), Na (Sódio), K (Potássio). Centesimal – PT (proteínas); CZ (cinza), UM (Umidade), LP (lípidios).

A partir desta análise, constatou-se que os coeficientes de correlação indicam a força e a direção das associações entre as variáveis. Há correlação positiva entre cinzas (0,945) com Ferro, seguida de magnésio (0,860). Além disso, uma forte correlação positiva é notada entre proteína (0,984) com zinco, e entre zinco (0,953) com manganês.

Essa correlação entre cinzas, magnésio e proteína, como também entre proteína, zinco e manganês sugere que alimentos com maior teor de cinzas tendem a ser mais ricos nesses componentes, fazendo com que essa correlação positiva possa ser considerada positiva do ponto de vista nutricional e nutracêutico dos sucos AB, CB e MM. Em um estudo anterior de [114] também relatou a correlação positiva da composição centesimal e minerais de jambu. A correlação positiva sugere que, ao selecionar alimentos (sucos) com maior teor de cinzas, há maior probabilidade de obter macronutrientes que podem ser benéficos para bem-estar humano.

Por outro lado, os coeficientes de correlação negativa de Lipídios (-0,530) com ferro, magnésio, zinco e manganês e umidade, magnésio e zinco essa correlação de lipídios pode indicar que não estão contribuindo significativamente para o conteúdo mineral do suco [35], [174]. Seguida de cinzas (-0,932) com potássio e sódio, essa correlação pode sugerir uma diminuição na concentração de minerais, indicando para outros componentes presentes nas cinzas que não estão fortemente relacionados ao minerais [114].

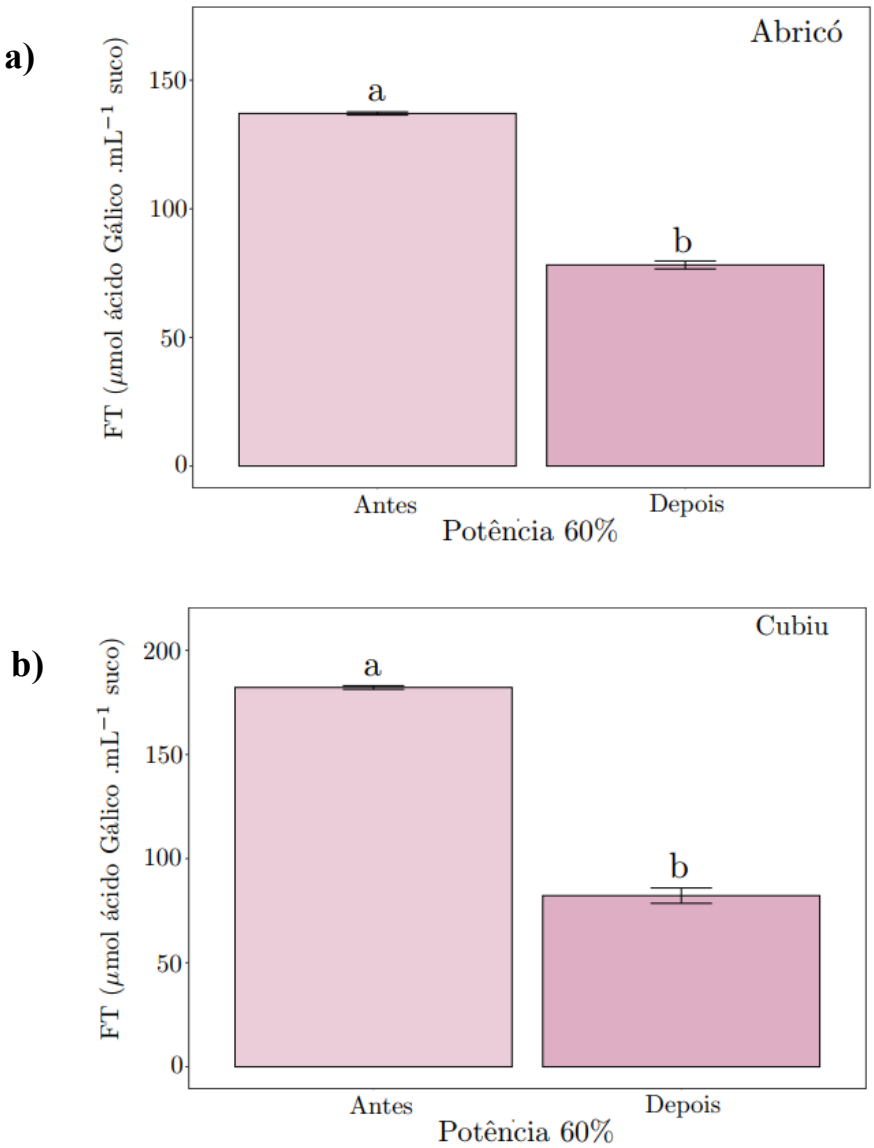
Notou-se também uma correlação negativa entre proteína (-0,488) com cálcio, potássio e sódio, o que pode estar associado a menor concentração desses (minerais) e influenciar sobre maneira por caraterísticas especificas dos sucos AB, CB e MM. Corroborando com estudos de [75], [110], [111].

As correlações positivas entre minerais podem indicar a presença ou ausência de outro mineral, como por exemplo, a correlação entre K e Na pode indicar que o suco com maior teor de potássio tem menor teor de sódio, além disso, pode estar associado a fatores intrínsecos da matriz do vegetal [19], [110].

5.7.Bioacessibilidade

A bioacessibilidade refere-se à quantidade ou fração de constituintes bioativos que são liberados de sua matriz no trato gastrointestinal [152]**.** Ao longo da digestão, as condições desfavoráveis de pH e a presença de enzimas podem diminuir a concentração dos compostos bioativos iniciais. Assim, a bioacessibilidade dos principais compostos bioativos presentes nos sucos de AB e CB (carotenoides) para concentração de teor de fenólicos é mostrada na **Figura 31.**

Figura 31: Bioacessibiidade de compostos fenólicos do AB e CB, sonicado a 60 %.



Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão. Teor de compostos fenólicos: **(a) FT de AB e** (**b) FT de CB.** (a - b) médias com letras diferentes em coluna são significativamente diferentes pelo pacote de Duncan (p-valor < 0,05).

Fonte: Autor, 2023.

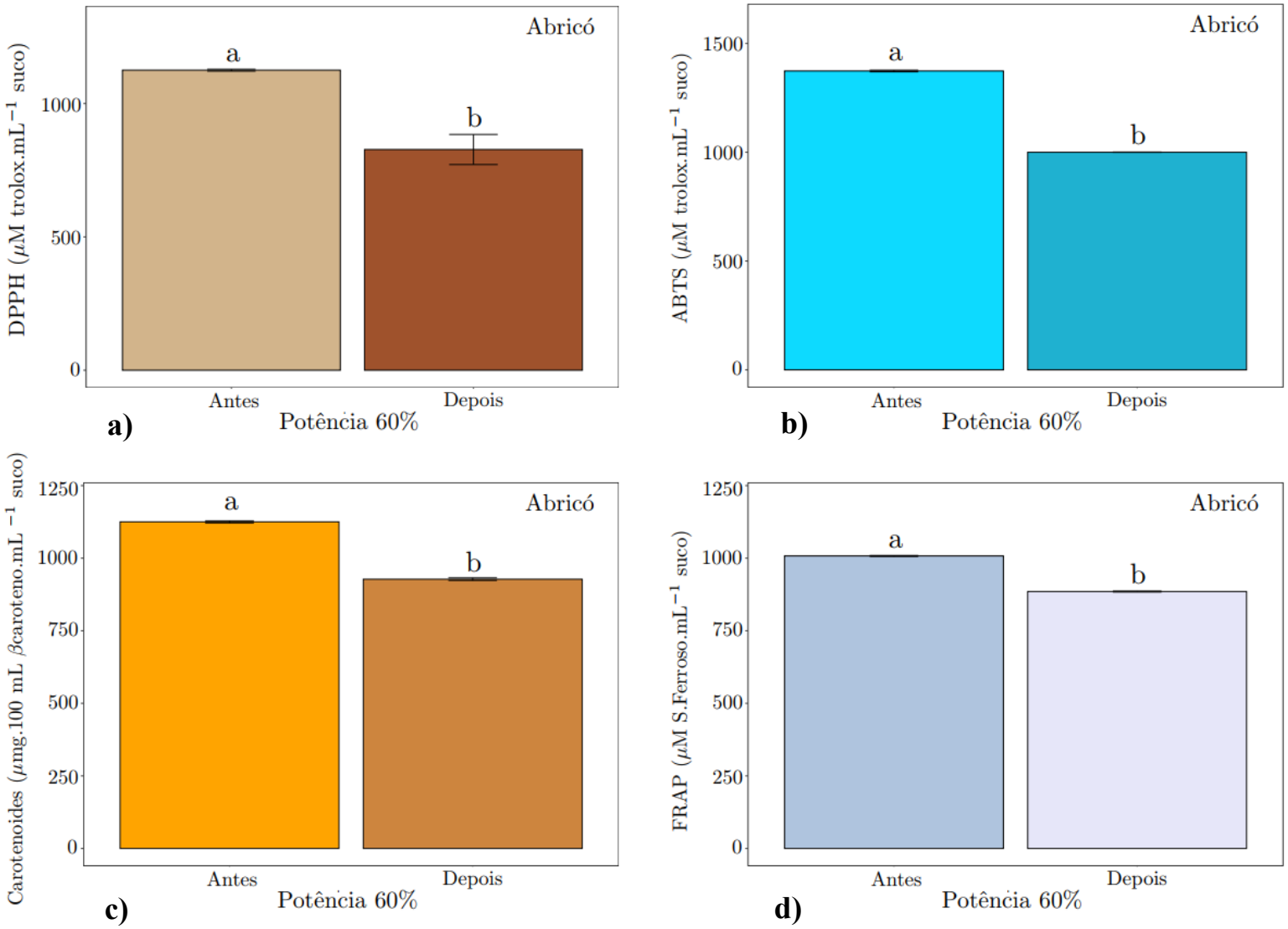
Observou-se uma redução significativa ($p < 0,05$) nos teores de fenóis totais do suco sonicado a 60% antes e depois da digestibilidade para as amostras AB (139,65 ± 0,642 e 78,21 ± 1,55) e CB (182,32 ± 0,87 e 78,59 ± 1,63) respetivamente. Isso indica que, antes da digestão (fase gástrica), o suco apresentou um considerável teor de fenólicos, mantendo as concentrações dos compostos bioativos, como os carotenoides. Com a manutenção das concentrações durante a fase eternal, houve uma redução considerável no teor de fenólicos, sugerindo que uma parte significativa de 56% desses compostos ficou disponível para serem absorvidos pelo corpo, em relação ao suco de AB, e aproximadamente 43% para suco de CB. A capacidade de absorção dos fenólicos pelo organismo, destacando a relevância desses compostos bioativos na dieta e seu potencial impacto na saúde.

Trabalhos prévios realizados por Fernandes e colaboradores [3], [175], [176], investigaram a biodisponibilidade dos compostos bioativos liberados por meio do ultrassom em sucos de buriti e perâ, tanto antes quanto após a digestão, o que está em consonância com os achados deste estudo. Além disso, o *solanum sessiliflorum e a Eugenia stipitata* foram alvo de estudos de sua composição fenólica [144], [177], [178][143], [179], revelando excelentes resultados quanto à presença de diversas variedades de compostos fenólicos, os quais são benéficos para a saúde, podendo auxiliar na prevenção de doenças relacionadas ao estresse oxidativo. Essas investigações fortalecem a importância do teor de fenólicos encontrados em frutas no geral e em particular as PANC´s, como por exemplo, abricó e Cubiu ricos em diversos compostos bioativos [21], [180], [181].

No entanto, são considerados os carotenos, ß-caroteno, flavonoides candidatos para retardamento do envelhecimento precoce, no combate as doenças causadas por estresse oxidativo, potenciais agentes na promoção da saúde e na prevenção de doenças [124]. Curiosamente, a liberação de compostos na parede intracelular de vegetais e frutos se dá com melhor eficiência quando aplicado a técnica de ultrassom.

O comportamento da digestibilidade *in vitro* do suco AB frente aos ensaios antioxidantes DPPH, ABTS FRAP e Carotenoides realizados com a amostra sonicada a potência de 60% antes e depois da digestibilidade *in vitro*, estão ilustrados na **Figura 32.**

Figura 33: Teor de constituintes de compostos bioativos referente à: (a) DPPH, (b) ABTS, (c) carotenoides e (d) FRAP do suco AB antes e após a digestibilidade in vitro.



Os resultados estão apresentados como média e ± desvio padrão. Capacidade antioxidante avaliada por **(a) DPPH**, **(b) ABTS**, **(c) carotenoides e (d) FRAP** do suco abricó (AB) tratado a 60% de sonicação. Antes (não digerido) e depois (simulação gástrica e condições intestinais, excluído fase oral). Diferentes letras (a e b) entre a mesma amostra indicam diferenças significativas em $p < 0,05$.

Em relação ao ensaio por DPPH observou-se um aumento significativo (valor $p < 0,05$), com concentrações altas do suco sonicado a 60% antes da digestibilidade para a amostra AB (1181,35 ± 32,42 µmol TE/L) e concentrações baixas depois da digestibilidade em torno de (818,11 ± 16,15 µmol TE/L) respetivamente. Isso indica que, o processo de ultrassom promoveu a ruptura das paredes celulares, permitindo a liberação de compostos majoritários (carotenoides) na fase gástrica, além disso, o suco apresentou capacidade antioxidante do radical DPPH, mantendo as concentrações dos compostos bioativos. Com a manutenção das concentrações durante a fase eternal, houve uma certa estabilidade dos compostos bioativos que pode ter sido provocado sob ondas mecânicas da cavitação ultrassônica, sugerindo que uma parte significativa de 69% desses compostos bioativos ficou disponível para serem absorvidos pelo corpo humano. Assim, a capacidade de absorção pelo organismo se destaca na relevância desses compostos bioativos na dieta e seu potencial impacto na saúde.

Mudanças semelhantes foram encontradas para atividade de eliminação do radical DPPH em suco de pêra Korla [182]. Mostrando que, a sonicacao à 60% favorece ao processamento de ruptura dos componentes da matriz intracelular do vegetal, o aumento das taxas de transferência de massa é possível devido a formação de microcavidade resultando na liberação de conteúdo antioxidantes [183],[3].

Ainda na **Figura 32 (b)**, referente ao ensaio de ABTS foi observado um aumento significado (p valor $p < 0,05$), com as concentrações dos compostos bioativos do suco sonicado a 60% antes e depois da digestibilidade, indicando que, o processo de sonicação nessa potência favorece melhor a liberação de compostos bioativos. Assim, com a manutenção das concentrações durante a fase eternal fez com que houve certa estabilidade que dela vai ser absorvida pelo corpo. Corroborando com pesquisas anteriores de Ramos e colaboradores [184], em polpa de moranga uma perda sequencial significativa antes em torno de (39% fase gástrica e depois (18% fase intestinal) da capacidade antioxidante avaliada pela ABTS também foi observada para o suco de morango durante a digestibilidade *in vitro.*

Os resultados da digestibilidade *in vitro* do suco AB frente aos ensaios (Carotenoides e FRAP) mostraram que o suco teve desempenho estatisticamente adequado tanto na fase gástrica antes e depois da digestibilidade fase eternal, mostrando que houve manutenção das concentrações de compostos bioativos que estarão acessíveis a absorção pelo corpo. Mais importante ainda, foi o processo de ultrassom promover a ruptura das paredes celulares, permitindo a liberação de carotenóides ligados em complexos com proteínas [3], [185], [186],

e teve melhor eficiência que suco de buriti, manga e mamão (ensaio de carotenoides). As alterações do presente estudo no suco AB, na capacidade antioxidante durante o processamento a digestibilidade *in vitro* foram consistentes, contribuindo plausivelmente que a técnica de ultrassom seja considerada uma técnica promissora para liberação de compostos bioativos que ficam na microestrutura da matriz do suco.

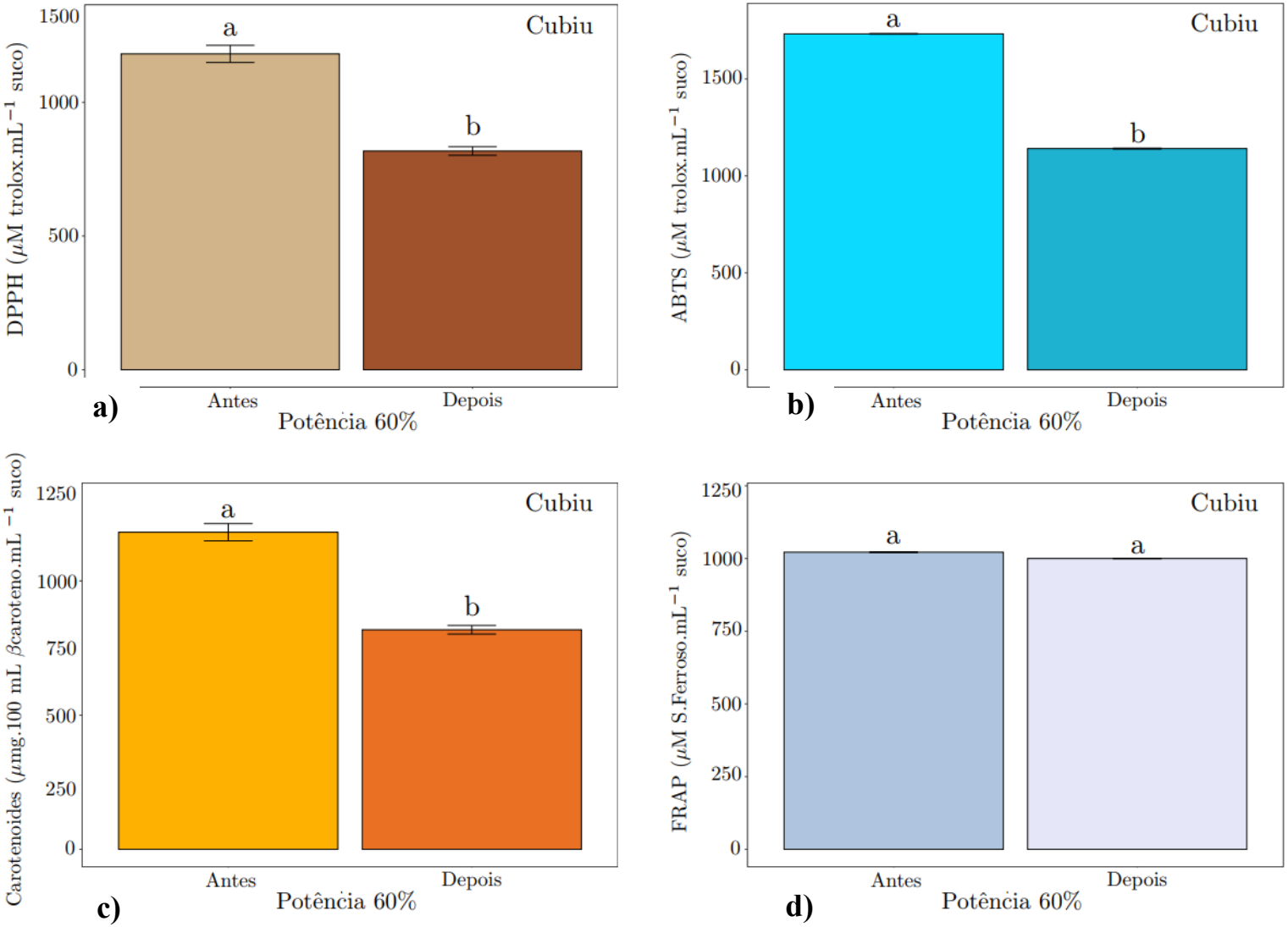
Em geral houve maior bioacessibilidade em todos os testes antioxidantes em sucos tratados com ultrassom, pois apresentaram aumento significativo de compostos bioativos quando a potência aumentou à 60% na simulação da digestibilidade *in vitro* antes (fase gástrica) e depois (fase eternal) houve a manutenção e estabilidade desses compostos fazendo com que estejam biodisponíveis.

Através dos ensaios da capacidade antioxidante avaliada por DPPH, ABTS, carotenóides e FRAP do suco cubiu tratado a 60% de sonicação e simulados antes (não digerido) e depois de simulação gástrica e condições intestinais. Foi possível obter informações da acessibilidade dos compostos bioativos deste suco, na fase gástrica (antes) e fase eternal (depois), os quais estão ilustrados na **Figura 32 (c).** O antes (fase gástrica), para os ensaios DPPH, ABTS e Carotenoides conseguiu -se observar que houve um aumento significativo ($p < 0,05$), diferentemente do ensaio de capacidade de redução férrica **Figura 32 (d).**

Os resultados apresentaram um aumento significativo de compostos antioxidantes quando a potência ultrassônica foi aumentando até 60%. Curiosamente. O ensaio de redução férrica FRAP foi o que menos apresentou, mostrando que não houve diferença estatística entre o antes e depois da digestibilidade quando comparado com os ensaios de carotenoides, DPPH e ABTS.

Com isso, constatou-se sobremaneira que, o depois (fase eternal) nos ensaios DPPH, ABTS e carotenoides, houve uma certa estabilidade de compostos bioativos o que pode favorecer para estarem bioacessíveis para serem absorvidos para corpo humano. Corroborando com estudos anteriores Souza e colaboradores [3], que comprovaram a capacidade antioxidante de buriti (carotenoides), nas condições parecidas de sonicação e mostrou efeito significo ($p < 0,05$).

Figura 35: Teor de constituintes de compostos bioativos atividade antioxidante por (a) DPPH, (b) ABTS, (c) Carotenoides e (d) FRAP para suco 60%



Os resultados estão apresentados como média e ± desvio padrão capacidade antioxidante avaliada por **(a) DPPH**, **(b) ABTS**, **(c) carotenoides e (d) FRAP** de suco cubiu tratado a 60 % de sonicação. Antes (não digerido) e depois de simulação gástrica e condições intestinais (fase eternal), excluído fase oral. Diferentes letras (a e b) entre a mesma amostra indicam diferenças significativas em $p < 0,05$.

A **Figura 34 (a), (b), (c) e (d)**, mostra os resultados antes e depois da digestibilidade *in vitro* do suco MM da espécie *cassia leiandra* Banth, com dados da figura ilustrada, foi possível observar que houve uma manutenção dos compostos bioativos nas fases gástrica (antes) e intestinal (depois) ambas as fases dão informações importantes sobre o quanto de compostos bioativos podem estar biodisponíveis para sua absorção pelo corpo humano, além disso, fornece também, as possibilidades quantificáveis de compostos liberados na matriz do suco pelo micro cavidade de ondas provocadas pelo ultrassom [43].

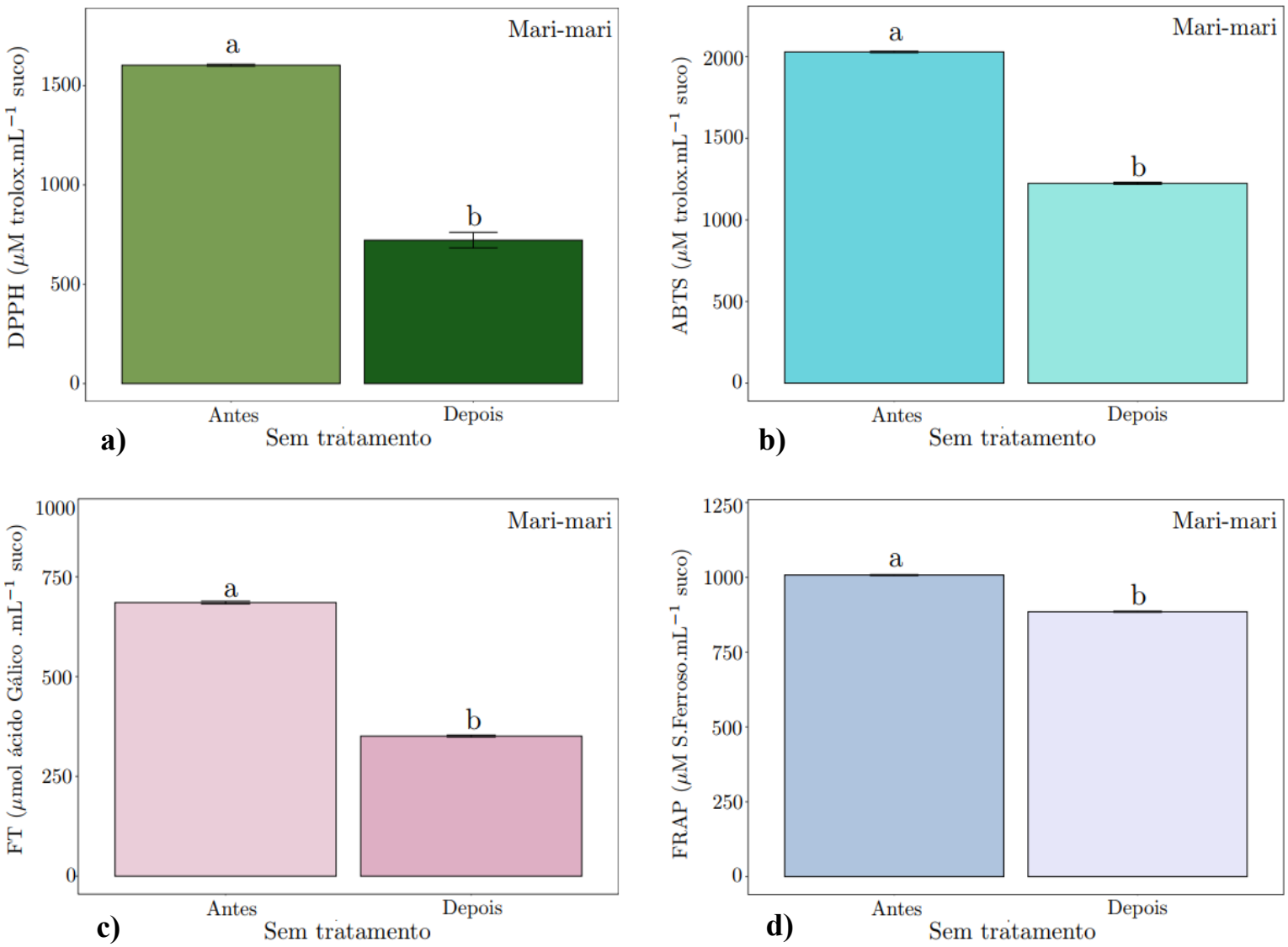
Através do ensaio de DPPH, foi possível mostrar que entre as fases antes (gástrica) e depois (eternal) há uma diferença significativa ($p < 0,05$). Ainda nesse ensaio constatou - se um aumento considerável de compostos bioativos antes (fase gástrica) que foram possivelmente iidentificados por este teste de atividade antioxidante. Estudos anteriores de Melo e colaboradores comprovaram que *Cassia leiandra* Benth., são repositórios naturais de diversas moléculas biologicamente ativas entre elas inibidores de protease. *C. leiandra* mostrando assim a importante fonte de vitamina no suco de MM [6].

Também, os resultados nesse ensaio, mostraram que depois (fase eternal) da digestibilidade *in vitro* houve uma certa estabilidade de concentração de compostos bioativos, mostrando que esses podem estar bioacessíveis para absorção pelo corpo humano.

Estudos anteriores de Carvalho e colegas [3], mostraram a manutenção de alguns compostos bioativos de suco de Buriti nas fazes gástrica e intestinal. Um outro estudo de Myane, Canuto e colaboradores [43], [142], [167], estudaram a identificação de flavonoides, propriedades antioxidantes, antimicrobianas e antiflamatórias da espécie *Cassia leiandra* Banth tendo obtido resultados positivos por parte do ensaio por DPPH, mas até o presente não foram reportados estudos na literatura que comprovem a bioacessibilidade de compostos bioativos do MM, esse trabalho é pioneiro quanto a digestibilidade *in vitro* frente aos ensaios antioxidantes e ultrassom, mostrando com isso, uma grande novidade nesse trabalho.

Como visto na **Figura 34 (b)**, o ensaio de ABTS o antes (fase gástrica) e depois (fase eternal) mostra que houve aumento e diminuição de concentração de compostos bioativos, mostrando uma diferença significativa ($p < 0,05$). Além disso, observou-se também a manutenção de concentração de compostos bioativos na fase eternal (depois).

Figura 34: Teor de constituintes de compostos bioativos de MM da atividade antioxidante por (a) DPPH, (b) ABTS, (c) Fenóis Totais e (d) FRAP para suco 60%.



Os resultados estão apresentados como média ± desvio padrão. (a) capacidade antioxidante avaliada por **DPPH**, **(b) ABTS**, **(c) FT** e **(d) FRAP** de mari-mari antes (não digerido) e depois de simulação gástrica e condições intestinais, excluído fase oral. Diferentes letras (a e b) entre a mesma amostra indicam diferenças significativa s em $p < 0,05$.

No ensaio ABTS, observou-se uma redução significativa (1224,11 ± 6,76μM Sulfato Ferroso. mL^{-1}) na concentração de compostos bioativos na fase pós-digestão, enquanto a concentração desses compostos na fase gástrica pré-digestão permaneceu estável em torno de (2029,42 ± 4,44 μM Sulfato Ferroso. mL^{-1}), evidenciando uma diferença substancial ($p < 0,05$) entre as duas fases (pré-gástrica e pós-digestão). Isso ressalta a mudança na biodisponibilidade dos compostos após a digestão *in vitro*, destacando como o corpo humano absorve esses compostos após o consumo do suco, conforme ilustrado na **Figura 34 (b)**.

Essas variações na concentração dos compostos bioativos antes e depois da digestão resultaram em 60,32% desses compostos se tornando biodisponíveis para absorção pelo organismo. Esse resultado sugere que a capacidade de absorção desses compostos pelo organismo é fundamental para entender sua relevância na dieta e seu potencial impacto na saúde.

Em um estudo prévio conduzido por Machado [186], foram examinadas as polpas frescas de tucumã-do-Amazonas e tucumã-do-Pará, enfocando tocoferóis, vitaminas A e E, alcançando valores semelhantes aos encontrados no presente estudo de ABTS, em torno de 58,8%. Este percentual representa a fração dos compostos bioativos que podem estar biodisponíveis para absorção pelo corpo humano. A presença de (poli)fenóis em *Astrocaryum spp*. também ressalta a importância de investigações sobre biodisponibilidade, uma vez que apenas uma pequena proporção desses compostos é diretamente absorvida pelo organismo, estimadamente entre 0,5% e 1,0%. As atividades biológicas estão principalmente associadas aos seus metabólitos [8], [147], [186], destacando a necessidade contínua de pesquisa nesse campo.

A Figura 34 (c) ilustra as mudanças nas concentrações de compostos bioativos antes (fase gástrica), em torno de (137,67 ± 0,64), e após (fase intestinal), em torno de (70,25 ± 0,52), do ensaio de fenóis totais. Essa variação nas concentrações de compostos bioativos está em consonância com estudos anteriores [162], [166]), fortalecendo os achados prévios. Estas flutuações nas concentrações dos compostos bioativos indicam um potencial biodisponibilidade de cerca de 51.2%, ou seja, uma parcela significativa está disponível para absorção pelo corpo humano.

No entanto, uma investigação mais aprofundada é necessária para discernir quais desses compostos bioativos estão verdadeiramente disponíveis para absorção [3], [59], [166]. Esta pesquisa poderia lançar luz sobre os mecanismos de absorção e os compostos específicos que contribuem para os benefícios à saúde associados ao consumo desses alimentos.

Por outro lado, a busca por uma vida saudável e equilibrada tem levado as pessoas a valorizarem cada vez mais a qualidade nutricional dos alimentos que consomem. Nesse contexto, os sucos de frutas têm se destacado como opções populares, devido aos seus potenciais benefícios à saúde, principalmente por serem fontes naturais de antioxidantes. No entanto, para garantir que esses sucos ofereçam os benefícios esperados, é fundamental avaliar a presença e a concentração desses compostos antioxidantes, e é aí que entra o ensaio FRAP mostrado na **Figura 34 (d).**

Com esse ensaio foi possível notar diferença significativa ($p < 0,05$), o ensaio FRAP representa um avanço significativo na avaliação da capacidade antioxidante de sucos de frutas, fornecendo informações precisas e confiáveis sobre sua qualidade nutricional. Desta feita, a manutenção das concentrações antes (fase gástrica) registrada em torno de (1008,44 ± 1,62) e depois (fase eternal) foi observado uma manutenção de concentração em torno de (885,43 ± 1,73). Essas variações na concentração dos compostos bioativos antes e depois da digestão resultaram em 87,82% desses compostos se tornando biodisponíveis para serem absorção pelo organismo. Ao utilizar essa técnica, tanto os consumidores quanto a indústria de alimentos podem promover escolhas mais saudáveis e contribuir para uma alimentação equilibrada e benéfica para a saúde.

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES E SUGESTÕES

6.1. Conclusão

A técnica de ultrassom mostrou-se eficiente na liberação de compostos bioativos da matriz intracelular do suco das espécies Abricó e Cubiu.

O ultrassom mostrou ser uma técnica de processamento que auxilia na retenção das características nutricionais do produto. Diante disso, o tratamento por essa técnica (sonicação) pode ser uma estratégia promissora no aumento de valor nutricional de sucos de frutas do cerrado amazônico.

A potência 60% mostrou-se ser a melhor na optimização (rendimento) para liberar/concentrar compostos bioativos das espécies Abricó e Cubiu. Sendo assim, a tecnologia de ultrassom pode ser considerada uma alternativa de pré-tratamento para sucos de frutas, melhorando a bioacessibilidade e a concentração de compostos bioativos.

Com relação a amostra Mari-mari, mostrou-se ser a melhor em todos os testes de sequestro de radicais livre para amostra sem tratamento, sendo que que o processo de sonicação afetou em pouquíssimas quantidades.

A liberação de micronutrientes bioativos oriundos do processo de ultrassom em sucos e confirmadas por ensaios antioxidantes, são promissores no combate a doenças causadas por estresse oxidativo, nessa perspectiva a técnica de ultrassom pode ser considerada como rotineira e bem acentuada para extração e liberação de compostos bioativos que sejam benéficos a saúde.

Os resultados mostram que há uma forte correlação positiva entre análise de componentes principais nas proporções bem acentuadas dos ensaios de carotenoides com as potências ultrassónicas em amostras de AB e CB, sendo que a melhor correlação foi observada à 60 % em AB e CB, sendo que são fibrosos e que as fibras ajudam na regulação da digestão e absorção de nutrientes, promovendo uma liberação mas lenta dos compostos bioativos no trato gastrointestinal;

Conclui-se também que o AB e CB (fibras) podem agir como substrato para a fermentação de bacteriana no intestino grosso, promovendo a produção de metabólitos bioativos, alem disso, houve forte correlação entre MM com os ensaios antioxidantes.

A correlação de Pearson, mostrou-se ser eficiente na correlação positiva e negativa entre as componentes de minerais e centesimal, nossas descobertas fornecem informações teóricas para o desenvolvimento de antioxidantes conservantes naturais que podem derivar dos sucos

das espécies, que podem ser úteis na indústria alimentícia como conservantes de frutas e vegetais.

Esses dados, vem engradecer de certa forma a relevância da técnica de ultrassom, para extração de compostos bioativos em frutas, confirmando assim com dados obtidos nessa pesquisa.

O espectro UV-Vis mostrou as principais bandas e/ou picos de absorção caraterístico as flavonas, carotenos. Observou-se também absorções de transições π à π* das principais regiões eletrônicas, o que pode ter associado as transições entre os níveis de potência ultrassónica. Mostrando que foi possível liberara alguns compostos que ficam na matriz da amostra.

A caracterização de FTIR-AT, no geral, mostrou diferenças nos espectros de FTIR nas regiões vibracionais de 726 cm^{-1} à 3436 cm^{-1} que indicaram diferenças qualitativas em compostos bioativos como polifenóis, e macromoléculas (proteínas e polissacarídeos) em sucos das espécies AB, CB e MM. Diante disso, uma análise espectral FTIR de sucos tratados por ultrassom pode ser uma ferramenta útil para pesquisar cada vez mais níveis de compostos bioativos em frutas amazônicas.

A análise espectral mostrou diferenças na região para grupos relacionado ao α-carotenos, ß-carotenos, beta-criptoxantina, zeaxantina e luteína, com algumas diferenças e sendo essas provavelmente estavam relacionadas ao tratamento ultrassônico e liofilização para amostras vegetais (sucos de AB e CB).

Os resultados mostram que os sucos AB e CB sanicados, a potência de 60 % deu bons resultados quando comparada em literatura. E a técnica de ultrassom mostrou-se ser uma ferramenta rotineira na liberação de compostos bioativos existente na parede intracelular do material (suco).

6.2. Perspectivas futuras

Pesquisas futuras, que se façam mais ensaios em técnicas espectroscópicas como RMN de hidrogênio e Carbono para identificação possíveis grupos funcionais;

Identificação de compostos aplicando as técnicas cromatográficas como por exemplo, a cromatografia liquida de alta eficiência com arranjo de diodos (HPLC-DAD), pois com essa técnica pode ser possível identificar e quantificar compostos que foram liberados na matriz celular dos sucos por ondas ultrassónica;

Intensificação de mais análises microbiológicas, para comprovar níveis de toxicidade, teste e tempo de prateleira dos sucos. Além disso, há necessidade de agregar mais técnicas para dar o resultado de um produto (material obtido) nutracêutico e que se possa com facilidade ser inserido na classe e escala do mercado.

7. REFERÊNCIAS

[1] F. Xue and C. Li, "Effects of ultrasound assisted cell wall disruption on physicochemical properties of camellia bee pollen protein isolates," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 92, p. 106249, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.106249.

[2] J. J. Chavan and C. Santa-Catarina, "Multidirectional insights into nutritional, phytochemical, antioxidant capability and multivariate analysis of underutilized edible berry plant (Salacia macrosperma Wight) – A novel source for food and pharmaceutical industry," *Food Chem. Adv.*, vol. 2, p. 100284, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100284.

[3] L. M. de Souza Carvalho *et al.*, "Improvement of the bioaccessibility of bioactive compounds from Amazon fruits treated using high energy ultrasound," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 67, no. March, p. 105148, 2020, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105148.

[4] Y. Shen *et al.*, "Effects of temperature-controlled ultrasound treatment on sensory properties, physical characteristics and antioxidant activity of cloudy apple juice," *LWT*, vol. 142, p. 111030, 2021.

[5] L. A. da Silva *et al.*, "Modelling the extraction of bioactive compounds of green and red camu-camu peel and identification using UPLC-MS/MS," *Chem. Eng. Res. Des.*, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.06.021.

[6] I. R. S. Melo *et al.*, "ClCPI, a cysteine protease inhibitor purified from Cassia leiandra seeds has antifungal activity against Candida tropicalis by inducing disruption of the cell surface," *Int. J. Biol. Macromol.*, vol. 133, pp. 1115–1124, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.04.174.

[7] N. Teixeira, J. C. S. Melo, L. F. Batista, J. Paula-Souza, P. Fronza, and M. G. L. Brandão, "Edible fruits from Brazilian biodiversity: A review on their sensorial characteristics versus bioactivity as tool to select research," *Food Res. Int.*, vol. 119, pp. 325–348, May 2019, doi: 10.1016/J.FOODRES.2019.01.058.

[8] P. G. Corrêa *et al.*, "Chemical and nutritional characterization of Ambelania duckei (Apocynaceae) an unexplored fruit from the Amazon region," *Food Res. Int.*, vol. 163, no. November 2022, 2023, doi: 10.1016/j.foodres.2022.112290.

[9] "Optimization of ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from jabuticaba (Myrciaria cauliflora) fruit through a Box-Behnken experimental design," *Food Sci.*

Technol. Int..

[10] A. Brodkorb *et al.*, "INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion," *Nat. Protoc.*, vol. 14, no. 4, pp. 991–1014, 2019, doi: 10.1038/s41596-018-0119-1.

[11] C. Colodel, R. M. das Graças Bagatin, T. M. Tavares, and C. L. de Oliveira Petkowicz, "Cell wall polysaccharides from pulp and peel of cubiu: A pectin-rich fruit," *Carbohydr. Polym.*, vol. 174, pp. 226–234, 2017.

[12] R. Khani, R. Sheykhi, and G. Bagherzade, "An environmentally friendly method based on micro-cloud point extraction for determination of trace amount of quercetin in food and fruit juice samples," *Food Chem.*, vol. 293, pp. 220–225, 2019.

[13] T. P. S. Ribeiro and M. F. B. Durigan, "PRODUTOS ALIMENTÍCIOS A BASE DE CUBIU (SOLANUM SESSILIFLORUM DUNAL) COMO OPORTUNIDADE A AGROINDÚSTRIA," *Ambient. Gestão e Desenvolv.*, vol. 11, no. 01, pp. 241–250, 2018, doi: 10.24979/162.

[14] B. Xu *et al.*, "Recent development in high quality drying of fruits and vegetables assisted by ultrasound: A review," *Food Res. Int.*, vol. 152, p. 110744, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110744.

[15] T. M. Uekane *et al.*, "Studies on the volatile fraction composition of three native Amazonian-Brazilian fruits: Murici (Byrsonima crassifolia L., Malpighiaceae), bacuri (Platonia insignis M., Clusiaceae), and sapodilla (Manilkara sapota L., Sapotaceae)," *Food Chem.*, vol. 219, pp. 13–22, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.098.

[16] M. K. Purkait, D. Haldar, and P. Duarah, "Chapter 9 - Pharmacologic and therapeutic aspects of various medicinal plants," in *Advances in Extraction and Applications of Bioactive Phytochemicals*, M. K. Purkait, D. Haldar, and P. Duarah, Eds., Academic Press, 2023, pp. 197–217. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18535-9.00002-8.

[17] H. KINUPP, valdely ferreira; LORENZI, *Plantas Alimenticias Não Convencionais (PANC) no Brasil*. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora LTDA, 2017.

[18] A. Berto, A. F. da Silva, J. V. Visentainer, M. Matsushita, and N. E. de Souza, "Proximate compositions, mineral contents and fatty acid compositions of native Amazonian fruits," *Food Res. Int.*, vol. 77, pp. 441–449, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.08.018.

[19] J. da S. de Oliveira, R. S. da Silva, and M. T. da Silva, "Caracterização química e funcional de polpa de Cubiu (Solanun sensiflorum Dunal) liofilizada para consumo em cápsulas," *Res. Soc. Dev.*, vol. 10, no. 14, p. e380101421993, 2021, doi: 10.33448/rsd-v10i14.21993.

[20] R. G. Ribeiro and V. F. Kinupp, "Chapter 15 - Amazonas forest (Brazil, Equador, Colombia, and Venezuela). A case study of 'mairá' potato (Casimirella spp.) and its potential as a starchy crop in Brazilian Amazonia," in *Varieties and Landraces*, vol. 2, M. Pascoli Cereda and O. François Vilpoux, Eds., in Underground Starchy Crops of South American Origin, vol. 2. , Academic Press, 2023, pp. 289–307. doi: https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90057-7.00006-1.

[21] A. B. Pereira-Netto, "Tropical Fruits as Natural, Exceptionally Rich, Sources of Bioactive Compounds," *Int. J. Fruit Sci.*, vol. 18, no. 3, pp. 231–242, 2018, doi: 10.1080/15538362.2018.1444532.

[22] N. M. Peixoto Araujo, H. S. Arruda, D. R. P. Marques, W. Q. de Oliveira, G. A. Pereira, and G. M. Pastore, "Functional and nutritional properties of selected Amazon fruits: A review," *Food Res. Int.*, vol. 147, no. May, 2021, doi: 10.1016/j.foodres.2021.110520.

[23] G. A. Pereira, E. K. Silva, N. M. Peixoto Araujo, H. S. Arruda, M. A. A. Meireles, and G. M. Pastore, "Obtaining a novel mucilage from mutamba seeds exploring different high-intensity ultrasound process conditions," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 55, no. January, pp. 332–340, 2019, doi: 10.1016/j.ultsonch.2019.01.010.

[24] C. Lemus, J. Smith-Ravin, and O. Marcelin, "Mammea americana: A review of traditional uses, phytochemistry and biological activities," *J. Herb. Med.*, vol. 29, p. 100466, 2021.

[25] D. B. Haytowitz, L. E. Lemar, and P. R. Pehrsson, "USDA's Nutrient Databank System – A tool for handling data from diverse sources," *J. Food Compos. Anal.*, vol. 22, no. 5, pp. 433–441, 2009, doi: https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.01.003.

[26] D. Skoog, D. M. West, F. J. Holler, and S. R. Crouch, "Fundamentals of Analytical Chemistry Answer Book," *Anal. Chem.*, vol. 398, pp. 27–28, 2004.

[27] "Assay of Antioxidant Activity and Bioactive Compounds of Cornelian Cherry (Cornus mas L.) Fruit Extracts Obtained by Green Extraction Methods: Ultrasound-Assisted, Supercritical Fluid, and Subcritical Water Extraction," *Pharm. Chem. J.*.

[28] C. Wen *et al.*, "Advances in ultrasound assisted extraction of bioactive compounds from

cash crops – A review," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 48, pp. 538–549, 2018.

[29] P. I. P. Leite *et al.*, "Extraction of bioactive compounds from buriti (Mauritia flexuosa L.) fruit by eco-friendly solvents: Chemical and functional characterization," *Sustain. Chem. Pharm.*, vol. 22, p. 100489, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100489.

[30] N. Bhargava, R. S. Mor, K. Kumar, and V. S. Sharanagat, "Advances in application of ultrasound in food processing: A review," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. July 2020, p. 105293, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105293.

[31] E. Kultys and K. M. Andrzej, "Green Extraction of Carotenoids from Fruit and Vegetable Byproducts: A Review," *Molecules*, 2022.

[32] H. S. Arruda and G. M. Pastore, "Araticum (Annona crassiflora Mart.) as a source of nutrients and bioactive compounds for food and non-food purposes: A comprehensive review," *Food Res. Int.*, vol. 123, pp. 450–480, 2019.

[33] F. Dujmić *et al.*, "ULTRASONIC - ASSISTED EXTRACTION OF BIOACTIVE COMPOUNDS FROM WASTE IN PRODUCTION OF RED WINE," *null*, 2018.

[34] S. P. Moulick, F. Jahan, M. Z. U. Al Mamun, M. I. S. Hossain, M. Waliullah, and R. A. Sathee, "Analysis of indigenous spices widely consumed in Bangladesh: An assessment to explore its proximate contents, minerals, phytochemical compositions, and antioxidant activities," *J. Agric. Food Res.*, vol. 14, no. June, p. 100720, 2023, doi: 10.1016/j.jafr.2023.100720.

[35] B. S. F. Alves, J. B. Pereira Junior, F. I. M. Carvalho, H. A. Dantas Filho, and K. G. Fernandes Dantas, "Mineral Composition of Amazonian Fruits by Flame Atomic Absorption Spectrometry Using Multivariate Analysis," *Biol. Trace Elem. Res.*, vol. 189, no. 1, pp. 259–266, May 2019, doi: 10.1007/S12011-018-1451-6.

[36] N. M. S. Araújo *et al.*, "ClTI, a Kunitz trypsin inhibitor purified from Cassia leiandra Benth. seeds, exerts a candidicidal effect on Candida albicans by inducing oxidative stress and necrosis," *Biochim. Biophys. Acta - Biomembr.*, vol. 1861, no. 11, p. 183032, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2019.183032.

[37] R. F. da Silva *et al.*, "Sustainable extraction bioactive compounds procedures in medicinal plants based on the principles of green analytical chemistry: A review," *Microchem. J.*, vol. 175, p. 107184, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.microc.2022.107184.

[38] F. F. de Araújo *et al.*, "Chemical characterization of Eugenia stipitata: A native fruit from

the Amazon rich in nutrients and source of bioactive compounds," *Food Res. Int.*, vol. 139, p. 109904, 2021.

[39] C. R. Clement, M. de Cristo-Araújo, G. C. d'Eeckenbrugge, A. A. Pereira, and D. Picanço-Rodrigues, "Origin and domestication of native Amazonian crops," *Diversity*, vol. 2, no. 1, pp. 72–106, Jan. 2010, doi: 10.3390/D2010072.

[40] P. H. S. Miranda, A. C. dos Santos, B. C. B. de Freitas, G. A. de Souza Martins, E. V. de Barros Vilas Boas, and C. Damiani, "A scientific approach to extraction methods and stability of pigments from Amazonian fruits," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 113, pp. 335–345, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.047.

[41] M. C. M. Lemos, F. S. da Costa, N. L. Barboza, E. S. da Silva, and J. P. do Nascimento, "Desenvolvimento, viabilidade econômica e intenção de compra de geleia de cubiu (Solanum sessiliflorum) em Manaus – Amazonas/ Development, economic viability and intention to purchase cubiu jam (Solanum sessiliflorum) in Manaus - Amazonas," *Brazilian J. Dev.*, vol. 7, no. 6, pp. 63099–63113, 2021, doi: 10.34117/bjdv7n6-609.

[42] J. M. do. A. Cruz *et al.*, "Thermal Treatment and High-Intensity Ultrasound Processing to Evaluate the Chemical Profile and Antioxidant Activity of Amazon Fig Juices," *Processes*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.3390/pr11020408.

[43] B. O. Augusto, G. B. Gomes, R. T. Perdomo, and L. R. Macedo, "Amazonian Fruit Mari-Mari (," vol. 34, no. 3, pp. 325–332, 2023.

[44] A. P. A. de Carvalho and C. A. Conte-Junior, "Health benefits of phytochemicals from Brazilian native foods and plants: Antioxidant, antimicrobial, anti-cancer, and risk factors of metabolic/endocrine disorders control," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 111, pp. 534–548, May 2021, doi: 10.1016/J.TIFS.2021.03.006.

[45] M. C. E. V. Schiassi, V. R. de Souza, A. M. T. Lago, L. G. Campos, and F. Queiroz, "Fruits from the Brazilian Cerrado region: Physico-chemical characterization, bioactive compounds, antioxidant activities, and sensory evaluation," *Food Chem.*, vol. 245, pp. 305–311, Apr. 2018, doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2017.10.104.

[46] A. O. Oladunjoye, F. O. Adeboyejo, T. A. Okekunbi, and O. R. Aderibigbe, "Effect of thermosonication on quality attributes of hog plum (Spondias mombin L.) juice," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. July 2020, p. 105316, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105316.

[47] A. S. Ramos *et al.*, "Chemical characterization and antioxidant capacity of the araçá-

pera (Psidium acutangulum): An exotic Amazon fruit," *Food Res. Int.*, vol. 75, pp. 315–327, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.06.026.

[48] M. Aria and C. Cuccurullo, "bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis," *J. Informetr.*, vol. 11, no. 4, pp. 959–975, 2017, doi: 10.1016/j.joi.2017.08.007.

[49] C. Aria, Massimo e Cuccurullo, "Uma breve introdução ao bibliometrix: Uma ferramenta R para análise abrangente de mapeamento científico," *J. Informetr.*, vol. 11, no. Elsevier, p. pp 959-975, 2017, [Online]. Available: https://www.bibliometrix.org/vignettes/Introduction_to_bibliometrix.html

[50] Y. Kiduk and L. I. Meho, "Citation analysis: A comparison of google scholar, scopus, and web of science," *Proc. ASIST Annu. Meet.*, vol. 43, 2006, doi: 10.1002/meet.14504301185.

[51] C. Duan, "Analyses of Scientific Collaboration Networks among Authors , Institutions , and Countries in FinTech Studies : A Bibliometric Review," pp. 249–273, 2024.

[52] W. Wu *et al.*, "Analysis of scientific collaboration networks among authors, institutions, and countries studying adolescent myopia prevention and control: A review article," *Iran. J. Public Health*, vol. 48, no. 4, pp. 621–631, 2019, doi: 10.18502/ijph.v48i4.983.

[53] M. Sachadyn-Król, I. Budziak-Wieczorek, and I. Jackowska, "The Visibility of Changes in the Antioxidant Compound Profiles of Strawberry and Raspberry Fruits Subjected to Different Storage Conditions Using ATR-FTIR and Chemometrics," *Antioxidants*, vol. 12, no. 9, 2023, doi: 10.3390/antiox12091719.

[54] M. do S. M. Rufino, R. E. Alves, E. S. de Brito, J. Pérez-Jiménez, F. Saura-Calixto, and J. Mancini-Filho, "Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil," *Food Chem.*, vol. 121, no. 4, pp. 996–1002, 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037.

[55] A. A. Prestes, M. H. M. Canella, C. V. Helm, A. Gomes da Cruz, and E. S. Prudencio, "THE USE OF COLD PRESSING TECHNIQUE ASSOCIATED WITH EMERGING NON-THERMAL TECHNOLOGIES IN THE PRESERVATION OF BIOACTIVE COMPOUNDS IN TROPICAL FRUIT JUICES: AN OVERVIEW," *Curr. Opin. Food Sci.*, p. 101005, 2023.

[56] A. M. Dantas, I. M. Mafaldo, P. M. de Lima Oliveira, M. dos Santos Lima, M. Magnani, and G. da Silva Campelo Borges, "Bioaccessibility of phenolic compounds in native and

exotic frozen pulps explored in Brazil using a digestion model coupled with a simulated intestinal barrier," *Food Chem.*, vol. 274, pp. 202–214, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.08.099.

[57] A. G. Schauss, "Chapter 32 - Açaí (Euterpe oleracea Mart.): A Macro and Nutrient Rich Palm Fruit from the Amazon Rain Forest with Demonstrated Bioactivities In Vitro and In Vivo," in *Bioactive Foods in Promoting Health*, R. R. Watson and V. R. Preedy, Eds., San Diego: Academic Press, 2010, pp. 479–490.

[58] M. Kręcisz, J. Kolniak-Ostek, J. Łyczko, and B. Stępień, "Evaluation of bioactive compounds, volatile compounds, drying process kinetics and selected physical properties of vacuum impregnation celery dried by different methods," *Food Chem.*, vol. 413, p. 135490, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135490.

[59] O. Gendaram, Y. H. Choi, Y. S. Kim, and S. Y. Ryu, "Anti-oxidative and antibacterial constituents from Sedum hybridum," *Nat. Prod. Sci.*, vol. 17, no. 4, pp. 279–284, 2011.

[60] A. Dailey and Q. Vuong, "Optimisation of Ultrasonic Conditions as an Advanced Extraction Technique for Recovery of Phenolic Compounds and Antioxidant Activity from Macadamia (Macadamia tetraphylla) Skin Waste," *Technologies*, vol. 3, no. 4, pp. 302–320, 2015, doi: 10.3390/technologies3040302.

[61] S. S. Mukrimaa *et al.*, "Avaliação da atividade antioxidante dos açúcares mascavos da cana porEnsaios de eliminação de radicais ABTS e DPPH: determinação deSeus constituintes polifenólicos e volátents," *J. Penelit. Pendidik. Guru Sekol. Dasar*, vol. 6, no. August, p. 128, 2016.

[62] I. B. Suffredini, M. L. Barradas Paciencia, A. D. Varella, and R. N. Younes, "Antibacterial activity of Brazilian Amazon plant extracts," *Brazilian J. Infect. Dis.*, vol. 10, no. 6, pp. 400–402, 2006, doi: 10.1590/S1413-86702006000600008.

[63] S. Tantratian, N. Balmuang, and W. Krusong, "Phenolic enrichment of Ma-Kieng seed extract using absorbent and this enriched extract application for safety control of fresh-cut cantaloupe," *Lwt*, vol. 106, no. July 2018, pp. 105–112, 2019, doi: 10.1016/j.lwt.2019.01.049.

[64] D. R. G. de Castro *et al.*, "Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied on camu-camu juice processing: Effect of the excitation frequency," *Food Res. Int.*, vol. 131, no. September 2019, p. 109044, 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109044.

[65] R. Haldhar, D. Prasad, and N. Bhardwaj, "Extraction and experimental studies of Citrus

aurantifolia as an economical and green corrosion inhibitor for mild steel in acidic media," *J. Adhes. Sci. Technol.*, vol. 33, no. 11, pp. 1169–1183, 2019, doi: 10.1080/01694243.2019.1585030.

[66] L. Albanese, R. Ciriminna, F. Meneguzzo, and M. Pagliaro, "Beer-brewing powered by controlled hydrodynamic cavitation: Theory and real-scale experiments," *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 1457–1470, 2017.

[67] B. L. S. do Espirito Santo *et al.*, "Dietary fiber chemical structures and physicochemical properties of edible Pouteria glomerata fruits, native from Brazilian Pantanal," *Food Res. Int.*, vol. 137, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.foodres.2020.109576.

[68] J. R. P. Maia, M. C. Schwertz, R. F. S. Sousa, J. P. L. Aguiar, and E. S. Lima, "Efeito hipolipemiante da suplementação dietética com a farinha do cubiu (solanum sessiliforum dunal) em ratos hipercolesterolêmicos," *Rev. Bras. Plantas Med.*, vol. 17, no. 1, pp. 112–119, 2015, doi: 10.1590/1983-084X/11_163.

[69] A. P. A. de Carvalho and C. A. Conte-Junior, "Health benefits of phytochemicals from Brazilian native foods and plants: Antioxidant, antimicrobial, anti-cancer, and risk factors of metabolic/endocrine disorders control," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 111, no. March, pp. 534–548, 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.03.006.

[70] P. M. K. \textitet al., "Chapter 9 - Pharmacologic and therapeutic aspects of various medicinal plants," in *Advances in Extraction and Applications of Bioactive Phytochemicals*, M. K. Purkait, D. Haldar, and P. Duarah, Eds., Academic Press, 2023, pp. 197–217.

[71] M. W. Tobler, J. P. Janovec, and F. Cornejo, "Frugivory and seed dispersal by the lowland tapir Tapirus terrestris in the Peruvian Amazon," *Biotropica*, vol. 42, no. 2, pp. 215–222, Mar. 2010, doi: 10.1111/J.1744-7429.2009.00549.X.

[72] J. A. Cárcel, J. V García-Pérez, J. Benedito, and A. Mulet, "Food process innovation through new technologies: Use of ultrasound," *J. Food Eng.*, vol. 110, no. 2, pp. 200–207, 2018.

[73] H. S. Arruda *et al.*, "Effects of high-intensity ultrasound process parameters on the phenolic compounds recovery from araticum peel," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 50, pp. 82–95, 2019.

[74] A. O. Martínez-Olivo *et al.*, "8 - Advances in ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds (antioxidant compounds) from agrofood waste," in *Advanced Technologies*

in Wastewater Treatment, A. Basile, A. Cassano, and C. Conidi, Eds., Elsevier, 2023, pp. 217–246.

[75] M. L. de Moraes, T. F. M. Moreira, V. C. Rodrigues, F. V. Leimann, and M. S. Katsuda, "Caracterização físico-química do leite fermentado por Lactobacillus helveticus adicionado de extrato de hibisco durante a estocagem," *Res. Soc. Dev.*, vol. 11, no. 1, p. e18211124475, 2022, doi: 10.33448/rsd-v11i1.24475.

[76] C. R. Clement and J. E. M. UrpÍ, "Pejibaye palm (Bactris gasipaes, Arecaceae): Multi-use potential for the lowland humid tropics," *Econ. Bot.*, vol. 41, no. 2, pp. 302–311, Apr. 1987, doi: 10.1007/BF02858977.

[77] G. Brokamp, N. Valderrama, M. Mittelbach, C. A. R. Grandez, A. S. Barfod, and M. Weigend, "Trade in Palm Products in North-Western South America," *Bot. Rev.*, vol. 77, no. 4, pp. 571–606, Dec. 2011, doi: 10.1007/S12229-011-9087-7.

[78] T. C. Polachini, I. Hernando, A. Mulet, J. Telis-Romero, and J. A. Cárcel, "Ultrasound-assisted acid hydrolysis of cassava (Manihot esculenta) bagasse: Kinetics, acoustic field and structural effects," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. May 2020, p. 105318, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105318.

[79] Y. Ni, J. Li, and L. Fan, "Effects of ultrasonic conditions on the interfacial property and emulsifying property of cellulose nanoparticles from ginkgo seed shells," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. June 2020, p. 105335, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105335.

[80] S. Nathamon.\textitet. al, "Mangosteen vinegar from Garcinia mangostana: quality improvement and antioxidant properties," *Heliyon*, vol. 8, no. 12, p. e11943, 2022.

[81] C. F. \textitet al., "Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 18, no. 4, pp. 813–835, 2011, doi: https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023.

[82] S.-M. S. Z. \textitet al., "Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of Escherichia coli ATCC 25922," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 14, no. 3, pp. 323–329, 2007.

[83] A. M. \textitet al., "Effect of ultrasound on different quality parameters of apple juice," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 20, no. 5, pp. 1182–1187, 2013.

[84] T. \textitet al., "Ultrasound and heat treatment effects on Staphylococcus aureus cell viability in orange juice," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 78, p. 105743, 2021.

[85] W. Ren *et al.*, "Hydroxyl radical dominated elimination of plasticizers by peroxymonosulfate on metal-free boron: Kinetics and mechanisms," *Water Res.*, vol. 186, p. 116361, 2020.

[86] W. Qu, X. Zhang, W. Chen, Z. Wang, R. He, and H. Ma, "Effects of ultrasonic and graft treatments on grafting degree, structure, functionality, and digestibility of rapeseed protein isolate-dextran conjugates," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 42, pp. 250–259, 2018.

[87] V. O. Abramov *et al.*, "Evaluation of Ficus tikoua leaves extract as an eco-friendly corrosion inhibitor for carbon steel in HCl media," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. July 2020, pp. 49–55, 2021, doi: 10.1016/j.bioelechem.2019.03.001.

[88] L. E. Ordóñez-santos, J. Martínez-girón, and M. E. Arias-jaramillo, "Effect of ultrasound treatment on visual color, vitamin C, total phenols, and carotenoids content in Cape gooseberry juice," *Food Chem.*, vol. 233, no. 1, pp. 96–100, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.04.114.

[89] X. Xu *et al.*, "Ultrasound freeze-thawing style pretreatment to improve the efficiency of the vacuum freeze-drying of okra (Abelmoschus esculentus (L.) Moench) and the quality characteristics of the dried product," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. July 2020, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105300.

[90] K. Ahmad, M. Imran, T. Ahmad, M. Ahmad, and M. Khan, "impact of ultrasound processing on physicochemical and bioactive attributes of grape based optimized fruit beverage," *null*, 2020.

[91] T. Sirichan, I. Kijpatanasilp, N. Asadatorn, and K. Assatarakul, "Optimization of ultrasound extraction of functional compound from makiang seed by response surface methodology and antimicrobial activity of optimized extract with its application in orange juice," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 83, p. 105916, 2022.

[92] M. J. Lo Fiego, A. S. Lorenzetti, G. F. Silbestri, and C. E. Domini, "The use of ultrasound in the South Cone region. Advances in organic and inorganic synthesis and in analytical methods," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 80, p. 105834, 2021.

[93] M. Oroian, F. Ursachi, and F. Dranca, "Influence of ultrasonic amplitude, temperature, time and solvent concentration on bioactive compounds extraction from propolis," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 64, p. 105021, 2020.

[94] G. L. Sharipov, B. M. Gareev, K. S. Vasilyuk, D. I. Galimov, and A. M. Abdrakhmanov, "New sonochemiluminescence involving solvated electron in Ce(III)/Ce(IV) solutions,"

Ultrason. Sonochem., vol. 70, no. July 2020, p. 105313, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105313.

[95] M. Ashokkumar, "Applications of ultrasound in food and bioprocessing," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 25, pp. 17–23, 2021.

[96] D. M. Ghadage, P. R. Kshirsagar, S. R. Pai, and J. J. Chavan, "Extraction efficiency, phytochemical profiles and antioxidative properties of different parts of Saptarangi (Salacia chinensis L.) – An important underutilized plant," *Biochem. Biophys. Reports*, vol. 12, pp. 79–90, 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.bbrep.2017.08.012.

[97] M. Hussain *et al.*, "Sustainable emerging high-intensity sonication processing to enhance the protein bioactivity and bioavailability: An updated review," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 97, p. 106464, 2023.

[98] J. Choi, H. Lee, and Y. Son, "Effects of gas sparging and mechanical mixing on sonochemical oxidation activity," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. June 2020, p. 105334, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105334.

[99] P. Wang, Y. Ma, C. Zhang, and M. Jia, "Considering solubility disparity and acoustic-cavitation susceptivity of neoteric solvents to accurately predict sono-recovery yield of value-added compounds," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 276, p. 119306, 2021.

[100] M. D. F. Agra, K. N. Silva, I. J. L. D. Basílio, P. F. De Freitas, and J. M. Barbosa-Filho, "Survey of medicinal plants used in the region Northeast of Brazil," *Rev. Bras. Farmacogn.*, vol. 18, no. 3, pp. 472–508, 2008, doi: 10.1590/S0102-695X2008000300023.

[101] L. Pauling, "química geral".

[102] M. Oroian, F. Ursachi, and F. Dranca, "Influence of ultrasonic amplitude, temperature, time and solvent concentration on bioactive compounds extraction from propolis," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 64, no. January, p. 105021, 2020, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105021.

[103] A. Hewage, O. O. Olatunde, C. Nimalaratne, M. Malalgoda, R. E. Aluko, and N. Bandara, "Novel Extraction technologies for developing plant protein ingredients with improved functionality," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 129, pp. 492–511, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.10.016.

[104] B. Khadhraoui, V. Ummat, B. K. Tiwari, A. S. Fabiano-Tixier, and F. Chemat, "Review of ultrasound combinations with hybrid and innovative techniques for extraction and

processing of food and natural products," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 76, p. 105625, 2021.

[105] Z. Guo *et al.*, "Ultrasound-assisted thawing of frozen white yak meat: Effects on thawing rate, meat quality, nutrients, and microstructure," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. 1, p. 105345, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105345.

[106] A. Virapongse, B. A. Endress, M. P. Gilmore, C. Horn, and C. Romulo, "Ecology, livelihoods, and management of the Mauritia flexuosa palm in South America," *Glob. Ecol. Conserv.*, vol. 10, pp. 70–92, Apr. 2017, doi: 10.1016/J.GECCO.2016.12.005.

[107] L. C. Hernandes *et al.*, "In vivo assessment of the cytotoxic, genotoxic and antigenotoxic potential of maná-cubiu (Solanum sessiliflorum Dunal) fruit," *Food Res. Int.*, vol. 62, pp. 121–127, Aug. 2014, doi: 10.1016/J.FOODRES.2014.02.036.

[108] T. Ozdal, F. D. Ceylan, N. Eroglu, M. Kaplan, E. O. Olgun, and E. Capanoglu, "Investigation of antioxidant capacity, bioaccessibility and LC-MS/MS phenolic profile of Turkish propolis," *Food Res. Int.*, vol. 122, no. January, pp. 528–536, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2019.05.028.

[109] Y. P. de O. Nishiyama-Hortense *et al.*, "Jelly candy enriched with BRS Violeta grape juice: Anthocyanin retention and sensory evaluation," *Futur. Foods*, vol. 6, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.fufo.2022.100179.

[110] Z. M. P. BARROS, "Cascas de frutas tropicais como fonte de antioxidantes para enriquecimento de suco pronto," pp. 1–85, 2011.

[111] D. R. D. L. H. Mascato *et al.*, "Evaluation of Antioxidant Capacity of Solanum sessiliflorum (Cubiu) Extract: An in Vitro Assay," *J. Nutr. Metab.*, vol. 2015, 2015, doi: 10.1155/2015/364185.

[112] L. R. T. Manhães and A. U. O. Sabaa-Srur, "Composição centesimal e de compostos bioativos em frutos de buriti coletados no pará," *Cienc. e Tecnol. Aliment.*, vol. 31, no. 4, pp. 856–863, Oct. 2011, doi: 10.1590/S0101-20612011000400005.

[113] J. Pavia, Lampman,Gary M. KRIZ, George; VYVYAN, *Introdução à Espectroscopia*, 4ª edição. Sao Paulo, 2015.

[114] S. Moura, E. D. M. Gemaque, C. E. Bahule, L. Helena, R. Campos, and A. S. Lopes, "Bioactive Compounds of Jambu (Acmella oleracea (L .) R . K . Jansen) as Potential Components of Biodegradable Food Packing : A Review," 2023.

[115] O. Mileti *et al.*, "Oil Extraction from Hemp Plant as a Potential Source of Cannabidiol for Healthy Protein Foods," pp. 1–12, 2023.

[116] B. H. Stuart, *Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications*. 2005. doi: 10.1002/0470011149.

[117] D. Pavia, G. Lampman, G. Kriz, and J. Vyvyan, *Introdução à espectroscopia*, 4a ed. São Paulo, 2015.

[118] "Spectroscopy Chemistry NMR FTIR MS - Silverstein.pdf."

[119] N. Liang, X. Lu, Y. Hu, and D. D. Kitts, "Application of Attenuated Total Reflectance-Fourier Transformed Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopy to Determine the Chlorogenic Acid Isomer Profile and Antioxidant Capacity of Coffee Beans," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 64, no. 3, pp. 681–689, 2016, doi: 10.1021/acs.jafc.5b05682.

[120] F. Em, "Nanocomp ´ alise das propriedades eletrˆ onicas e intera ¸ c ˜ ao entre as fases atrav ´ es de t ´ ecnicas experimentais e c ´ alculos ab-initio ADRIANO DE SOUZA CAROLINO Nanocomp ´ osito formado por ES-PANI e WO 3 . 2H 2 O : An ´ alise das propriedades e".

[121] Y. Liu, M. Chan, B. Ebersole, H. Sy, and P. N. Brown, "Determination of ethanol content in Kombucha products by gas chromatography with flame ionization detection: A multilaboratory study," *J. AOAC Int.*, vol. 102, no. 3, pp. 878–882, 2019, doi: 10.5740/jaoacint.18-0190.

[122] J. G. S. Silva, E. A. Orlando, A. P. Rebellato, and J. A. L. Pallone, "Optimization and Validation of a Simple Method for Mineral Potential Evaluation in Citrus Residue," *Food Anal. Methods*, vol. 10, no. 6, pp. 1899–1908, 2017, doi: 10.1007/s12161-016-0748-3.

[123] M. P, "The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity," *Songklanakarin J. Sci. Technol.*, vol. 50, no. June 2003, pp. 211–219, 2004.

[124] M. do S. M. Rufino *et al.*, "Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH.," *Comun. Técnico Online EMBRAPA*, vol. 127, pp. 1–4, 2007, [Online]. Available: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/426953/1/Cot127.pdf

[125] M. do S. M. Rufino, R. E. Alves, E. S. de Brito, J. Pérez-Jiménez, F. Saura-Calixto, and J. Mancini-Filho, "Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil," *Food Chem.*, vol. 121, no. 4, pp. 996–1002, 2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2010.01.037.

[126] M. de F. G. Dos Santos, R. V. S. Mamede, M. do S. M. Rufino, E. S. De Brito, and R. E. Alves, "Amazonian native palm fruits as sources of antioxidant bioactive compounds," *Antioxidants*, vol. 4, no. 3, pp. 591–602, Sep. 2015, doi: 10.3390/ANTIOX4030591.

[127] J. M. dos A. Cruz *et al.*, "Thermal Treatment and High-Intensity Ultrasound Processing to Evaluate the Chemical Profile and Antioxidant Activity of Amazon Fig Juices," *Processes*, vol. 11, no. 2, 2023.

[128] F. A. N. Fernandes, V. O. Santos, and S. Rodrigues, "Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice," *Food Res. Int.*, vol. 115, pp. 16–22, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2018.07.042.

[129] J. Moreira, L. Souza, W. Picanço, and A. Bezerra, "Edible flowers from Theobroma speciosum : Aqueous extract rich in antioxidant compounds," *Food Chem.*, vol. 356, no. January, 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129723.

[130] O. V. dos Santos, S. D. Soares, P. C. S. Dias, S. de Paula de Almeida Duarte, M. P. L. dos Santos, and F. das Chagas Alves do Nascimento, "Chromatographic profile and bioactive compounds found in the composition of pupunha oil (bactris gasipaes kunth): Implications for human health," *Rev. Nutr.*, vol. 33, 2020, doi: 10.1590/1678-9805202033E190146.

[131] M. B. Cruz, W. da S. Oliveira, R. L. Araújo, A. C. Honório França, and P. B. Pertuzatti, "Buriti (Mauritia Flexuosa L.) pulp oil as an immunomodulator against enteropathogenic Escherichia coli," *Ind. Crops Prod.*, vol. 149, Jul. 2020, doi: 10.1016/J.INDCROP.2020.112330.

[132] G. N. de Mello e Silva *et al.*, "Blackberry jam fruit (Randia formosa (Jacq.) K. Schum): An Amazon superfruit with in vitro neuroprotective properties," *Food Biosci.*, vol. 50, no. September, 2022, doi: 10.1016/j.fbio.2022.102084.

[133] L. F. R. da Silva *et al.*, "Ultrasound-assisted homogenization and gum Arabic combined to physicochemical quality of cupuaçu juice," *J. Food Process. Preserv.*, vol. 43, no. 9, pp. 1–11, 2019, doi: 10.1111/jfpp.14072.

[134] N. Teslić *et al.*, "Sour Cherry Pomace Valorization as a Bakery Fruit Filling: Chemical Composition, Bioactivity, Quality and Sensory Properties," *Antioxidants*, vol. 12, no. 6, 2023, doi: 10.3390/antiox12061234.

[135] P. Adadi, N. Vasilyevna Barakova, and E. Fedorovna Krivoshapkina, "Selected Methods

of Extracting Carotenoids, Characterization, and Health Concerns: A Review," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 66, no. 24, pp. 5925–5947, May 2018, doi: 10.1021/acs.jafc.8b01407.

[136] A. B. Sereno *et al.*, "Teor De Compostos Fenólicos E Capacidade Antioxidante Encontrados Na Casca Do Maná-Cubiu (Solanum Sessiliflorum Dunal), Cultivado Na Mata Atlântica Brasileira / Content of Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity Found in Cocona Peel (Solanum Sessilifl," *Brazilian J. Dev.*, vol. 6, no. 11, pp. 93187–93199, 2020, doi: 10.34117/bjdv6n11-650.

[137] A. Gomes, A. L. R. Costa, P. D. Rodrigues, R. J. S. de Castro, and E. K. Silva, "Sonoprocessing of freshly squeezed orange juice: Ascorbic acid content, pectin methylesterase activity, rheological properties and cloud stability," *Food Control*, vol. 131, p. 108391, 2022, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108391.

[138] A. Flávia *et al.*, "Non-thermal combined treatments in the processing of açai (Euterpe oleracea) juice," *Food Chem.*, vol. 265, no. May, pp. 57–63, 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.05.081.

[139] L. M. Resende, A. S. Franca, and L. S. Oliveira, "Buriti (Mauritia flexuosa L. f.) fruit by-products flours: Evaluation as source of dietary fibers and natural antioxidants," *Food Chem.*, vol. 270, no. July 2018, pp. 53–60, 2019, doi: 10.1016/j.foodchem.2018.07.079.

[140] W. Wang, Y. Feng, W. Chen, K. Adie, D. Liu, and Y. Yin, "Citrus pectin modified by microfluidization and ultrasonication: Improved emulsifying and encapsulation properties," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. May 2020, p. 105322, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105322.

[141] K. J. Pahk, S. Lee, P. Gélat, M. O. de Andrade, and N. Saffari, "The interaction of shockwaves with a vapour bubble in boiling histotripsy: The shock scattering effect," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. June 2020, p. 105312, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105312.

[142] V. V. De Rosso and A. Z. Mercadante, "Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 55, no. 13, pp. 5062–5072, Jun. 2007, doi: 10.1021/JF0705421.

[143] Tatiane Patrícia Silvério Ribeiro and M. F. B. Durigan, "food products based on cubiu (solanum sessiliflorum dunal) as an opportunity to agroindustry," *Rev. Ambient. Gestão e Desenvolv.*, vol. 11, 2018.

[144] G. A. B. Canuto, A. A. O. Xavier, L. C. Neves, and M. de T. Benassi, "Caracterização

físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre," *Rev. Bras. Frutic.*, vol. 32, no. 4, pp. 1196–1205, Nov. 2010, doi: 10.1590/S0100-29452010005000122.

[145] A. Ma. B. Pires, P. S. Silva, P. M. Nardelli, J. C. Gomes, and A. M. Ramos, "Caracterização e processamento de cubiu (Solanum sessiliflorum)," *Rev. Ceres*, vol. 53, no. 307, pp. 309–316, 2006.

[146] A. Palma, M. J. Díaz, M. Ruiz-Montoya, E. Morales, and I. Giráldez, "Ultrasound extraction optimization for bioactive molecules from Eucalyptus globulus leaves through antioxidant activity," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 76, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2021.105654.

[147] L. A. Puente, C. A. Pinto-Muñoz, E. S. Castro, and M. Cortés, "Physalis peruviana Linnaeus, the multiple properties of a highly functional fruit: A review," *Food Res. Int.*, vol. 44, no. 7, pp. 1733–1740, 2011, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.09.034.

[148] W. W. Tilahun, J. A. S. Grossi, and S. P. Favaro, "Combination of storage followed by drying assures higher yield and quality of macauba (Acrocomia aculeata) pulp oil," *Appl. Food Res.*, vol. 2, no. 1, p. 100090, 2022.

[149] K. Kumar, S. Srivastav, and V. S. Sharanagat, "Ultrasound assisted extraction (UAE) of bioactive compounds from fruit and vegetable processing by-products: A review," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. May 2020, p. 105325, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105325.

[150] R. Re, N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang, and C. Rice-Evans, "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay," *Free Radic. Biol. Med.*, vol. 26, no. 9, pp. 1231–1237, 1999.

[151] Y. S. Velioglu, G. Mazza, L. Gao, and B. D. Oomah, "Antioxidant Activity and Total Phenolics in Selected Fruits, Vegetables, and Grain Products," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 46, no. 10, pp. 4113–4117, 1998, doi: 10.1021/jf9801973.

[152] L. M. Ramírez-Melo *et al.*, "Optimization of antioxidant activity properties of a thermosonicated beetroot (Beta vulgaris L.) juice and further in vitro bioaccessibility comparison with thermal treatments," *Lwt*, vol. 154, 2022, doi: 10.1016/j.lwt.2021.112780.

[153] D. Tagliazucchi, E. Verzelloni, D. Bertolini, and A. Conte, "In vitro bio-accessibility and antioxidant activity of grape polyphenols," *Food Chem.*, vol. 120, no. 2, pp. 599–606,

2010, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.10.030.

[154] A. Maen and C. I E, "Inhibitory activity of high antioxidant Australian native fruits against the bacterial triggers of selected autoimmune diseases," *Pharmacogn. Commun.*, vol. 5, no. 1, pp. 64–74, 2014, doi: 10.5530/pc.2015.1.5.

[155] A. Cavalcante de Oliveira *et al.*, "Pouteria spp. fruits: health benefits of bioactive compounds and their potential for the food industry," *Food Res. Int.*, p. 113310, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113310.

[156] Y. Q. Hu, T. G. Hu, Y. J. Xu, J. J. Wu, X. L. Song, and Y. S. Yu, "Interaction mechanism of carotenoids and polyphenols in mango peels," *Food Res. Int.*, vol. 173, no. P1, p. 113303, 2023, doi: 10.1016/j.foodres.2023.113303.

[157] P. Adadi, N. V. Barakova, and E. F. Krivoshapkina, "Selected Methods of Extracting Carotenoids, Characterization, and Health Concerns: A Review," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 66, no. 24, pp. 5925–5947, 2018, doi: 10.1021/acs.jafc.8b01407.

[158] B. Shahar, N. Dolma, and N. Chongtham, "Phytochemical analysis, antioxidant activity and identification of bioactive constituents from three wild medicinally important underutilized plants of Ladakh, India using GCMS and FTIR based metabolomics approach," *Food Humanit.*, vol. 1, no. June, pp. 430–439, 2023, doi: 10.1016/j.foohum.2023.06.022.

[159] A. L. F. Rocha *et al.*, "Extraction and Modification of Cellulose Microfibers Derived from Biomass of the Amazon Ochroma pyramidale Fruit," *Micro*, vol. 3, no. 3, pp. 653–670, 2023, doi: 10.3390/micro3030046.

[160] G. CHIHARA, *Clinical Applications of Infrared Spectroscopy*, vol. 9, no. 4. 1961. doi: 10.5111/bunkou.9.181.

[161] DOUGLAS A. SKOOG; F.JAMES HOLLER.; STANLEY R CROUCHER, "Douglas A. Skoog - Principios de análisis instrumental-Cengage Learning (2019)," 2019.

[162] E. Guanabara, K. Ltda, E. Guanabara, and K. Ltda, "No Analysis of the co-dispersion structre of health--related indicators, the center of the subjects sense of health, and the elderly people living at homeTitle".

[163] V. V. De Rosso and A. Z. Mercadante, "Identification and quantification of carotenoids, by HPLC-PDA-MS/MS, from Amazonian fruits," *J. Agric. Food Chem.*, vol. 55, no. 13, pp. 5062–5072, 2007, doi: 10.1021/jf0705421.

[164] "Silverstein - Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th ed.pdf."

[165] H. Ter Steege *et al.*, “Hyperdominance in the Amazonian tree flora,” *Science (80-.).*, vol. 342, no. 6156, 2013, doi: 10.1126/SCIENCE.1243092.

[166] Desconhecido, “Douglas A. Skoog, Donald M. West, F. James Holler, Stanley R. Crouch-Fundamentos de Química Analítica,” vol. 1, 2009.

[167] A. M. Da Cruz Rodrigues, S. Darnet, and L. H. M. Da Silva, “Fatty acid profiles and tocopherol contents of buriti (mauritia flexuosa), patawa (oenocarpus bataua), tucuma (astrocaryum vulgare), mari (poraqueiba paraensis) and Inaja (Maximiliana Maripa) fruits,” *J. Braz. Chem. Soc.*, vol. 21, no. 10, pp. 2000–2004, 2010, doi: 10.1590/S0103-50532010001000028.

[168] J. Tewari and J. Irudayaraj, “Quantification of saccharides in multiple floral honeys using fourier transform infrared microattenuated total reflectance spectroscopy,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 52, no. 11, pp. 3237–3243, 2004, doi: 10.1021/jf035176+.

[169] Z. Zhao *et al.*, “Evaluation of a strawberry fermented beverage with potential health benefits,” *PeerJ*, vol. 9, pp. 1–23, 2021, doi: 10.7717/peerj.11974.

[170] D. D. O. Sandri, A. L. R. P. Xisto, E. C. Rodrigues, E. C. De Morais, and W. M. De Barros, “Antioxidant activity and physicochemical characteristics of buriti pulp (Mauritia flexuosa) collected in the city of diamantino – MTS,” *Rev. Bras. Frutic.*, vol. 39, no. 3, 2017, doi: 10.1590/0100-29452017864.

[171] A. B. Sereno, L. Gibbert, R. L. Bertin, and C. C. H. Krüger, “CULTIVO DO MANÁ-CUBIU (Solanum sessiliflorum Dunal) NO LITORAL DO PARANÁ E SUA CONTEXTUALIZAÇÃO COM A SEGURANÇA ALIMENTAR E NUTRICIONAL,” *Divers@!*, vol. 10, no. 2, p. 123, 2017, doi: 10.5380/diver.v10i2.58070.

[172] A. Y. Berman, R. A. Motechin, M. Y. Wiesenfeld, and M. K. Holz, “The therapeutic potential of resveratrol: a review of clinical trials,” *npj Precis. Oncol.*, vol. 1, no. 1, Sep. 2017, doi: 10.1038/S41698-017-0038-6.

[173] H. Shen *et al.*, “Antifungal Capacities , Polyphenol Contents , and Volatile Profiles of Bamboo Leaves,” 2024.

[174] E. Bonah *et al.*, “Nondestructive monitoring, kinetics and antimicrobial properties of ultrasound technology applied for surface decontamination of bacterial foodborne pathogen in pork,” *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. June 2020, p. 105344, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105344.

[175] A. Priyadarshi *et al.*, “On the governing fragmentation mechanism of primary

intermetallics by induced cavitation," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. July 2020, p. 105260, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105260.

[176] J. Hempel *et al.*, "Lipid-dissolved γ-carotene, β-carotene, and lycopene in globular chromoplasts of peach palm (Bactris gasipaes Kunth) fruits," *Planta*, vol. 240, no. 5, pp. 1037–1050, Oct. 2014, doi: 10.1007/S00425-014-2121-3.

[177] F. A. N. Fernandes, V. O. Santos, and S. Rodrigues, "Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice," *Food Res. Int.*, vol. 115, no. February 2018, pp. 16–22, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2018.07.042.

[178] F. A. N. Fernandes, V. O. Santos, and S. Rodrigues, "Effects of glow plasma technology on some bioactive compounds of acerola juice," *Food Res. Int.*, vol. 115, no. July 2018, pp. 16–22, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2018.07.042.

[179] I. Escriche, J. Restrepo, J. A. Serra, and L. R. Herrera, "Composition and nutritive value of Amazonian palm fruits," *Food Nutr. Bull.*, vol. 20, no. 3, pp. 361–365, 1999, doi: 10.1177/156482659902000314.

[180] B. R. Hammond and L. M. Renzi, "Carotenoids," *Adv. Nutr.*, vol. 4, no. 4, pp. 474–476, 2013, doi: 10.3945/AN.113.004028.

[181] R. Abreu-Naranjo, J. G. Paredes-Moreta, G. Granda-Albuja, G. Iturralde, A. M. González-Paramás, and J. M. Alvarez-Suarez, "Bioactive compounds, phenolic profile, antioxidant capacity and effectiveness against lipid peroxidation of cell membranes of Mauritia flexuosa L. fruit extracts from three biomes in the Ecuadorian Amazon," *Heliyon*, vol. 6, no. 10, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05211.

[182] L. Zhao, Y. Wang, X. Hu, Z. Sun, and X. Liao, "Korla pear juice treated by ultrafiltration followed by high pressure processing or high temperature short time," *Lwt*, vol. 65, pp. 283–289, 2016, doi: 10.1016/j.lwt.2015.08.011.

[183] H. Wang, J. Chen, P. Ren, Y. Zhang, and S. Omondi Onyango, "Ultrasound irradiation alters the spatial structure and improves the antioxidant activity of the yellow tea polysaccharide," *Ultrason. Sonochem.*, vol. 70, no. March 2020, p. 105355, 2021, doi: 10.1016/j.ultsonch.2020.105355.

[184] S. Thomas-Valdés, C. Theoduloz, F. Jiménez-Aspee, and G. Schmeda-Hirschmann, "Effect of simulated gastrointestinal digestion on polyphenols and bioactivity of the native Chilean red strawberry (Fragaria chiloensis ssp. chiloensis f. patagonica)," *Food Res. Int.*, vol. 123, no. January, pp. 106–114, 2019, doi: 10.1016/j.foodres.2019.04.039.

[185] A. S. Ramos *et al.*, “Pedra-ume caá fruit: An Amazon cherry rich in phenolic compounds with antiglycant and antioxidant properties,” *Food Res. Int.*, vol. 123, pp. 674–683, 2019, doi: https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.05.042.

[186] F. J. Barba, L. R. B. Mariutti, N. Bragagnolo, A. Z. Mercadante, G. V. Barbosa-Cánovas, and V. Orlien, “Bioaccessibility of bioactive compounds from fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 67, pp. 195–206, 2017, doi: 10.1016/j.tifs.2017.07.006.