

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA**

**CARACTERIZAÇÃO, ESTUDO DO PROCESSAMENTO E
CONSERVAÇÃO DO MEL DE CACAU**

Belo Horizonte, MG

2022

CHRISTIANO PEDRO GUIRLANDA

**CARACTERIZAÇÃO, ESTUDO DO PROCESSAMENTO E
CONSERVAÇÃO DO MEL DE CACAU**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências de Alimentos da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para à obtenção de grau de Doutor em Ciência de alimentos

Orientadora: Dra. Jacqueline Aparecida
Takahashi

Belo Horizonte, MG

2022

G965c Guirlanda, Christiano Pedro.
Caracterização, estudo do processamento e conservação do mel de cacau [recurso eletrônico] / Christiano Pedro Guirlanda. – 2022. 1
recurso online (136 f. : il.) : pdf.

Orientadora: Jacqueline Aparecida Takahashi.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Farmácia, Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Cacau – Teses. 2. Alimentos – Análise – Teses. 3. Alimentos – Processamento – Teses. 4. Resíduos – Teses. 5. Antioxidantes – Teses. I. Takahashi, Jacqueline Aparecida. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Faculdade de Farmácia. III. Título.

CDD: 664.07



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DE ALIMENTOS

FOLHA DE APROVAÇÃO

CARACTERIZAÇÃO, ESTUDO DO PROCESSAMENTO E CONSERVAÇÃO DO MEL DE CACAU

CHRISTIANO PEDRO GUIRLANDA

Tese submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, como requisito para obtenção do grau de Doutor em CIÊNCIA DE ALIMENTOS, área de concentração CIÊNCIA DE ALIMENTOS.

Aprovada em 11 de fevereiro de 2022, pela banca constituída pelos membros:

Profa. Dra. Jacqueline Aparecida Takahashi (Orientadora e Presidente da Comissão) - UFMG
Profa. Dra. Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia - UFMG
Profa. Dra. Inayara Cristina Alves Lacerda - UFMG
Prof. Dr. Ivanildo Evódio Marriel - EMBRAPA
Prof. Dr. Juan Canellas Bosch Neto - UFSJ

Assinatura dos membros da banca examinadora:



Documento assinado eletronicamente por **Ivanildo Evódio Marriel, Usuário Externo**, em 14/02/2022, às 11:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jacqueline Aparecida Takahashi, Professora do Magistério Superior**, em 14/02/2022, às 12:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Inayara Cristina Alves Lacerda, Membro de comissão**, em 14/02/2022, às 13:49, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maria Aparecida Vieira Teixeira Garcia, Membro de comissão**, em 14/02/2022, às 16:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Juan Canellas Bosch Neto, Usuário Externo**, em 15/02/2022, às 10:24, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site



https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1249686** e o código CRC **08D93503**.

*Dedico este trabalho aos meus filhos
Heitor (in memoriam) e Manuela,
por eles desistir não é uma opção*

AGRADECIMENTOS

Aos meus filhos Heitor e Manuela, por vocês eu segui em frente e por vocês eu tive forças para chegar ao final. Meu anjinho pela proteção e por me ensinar a nunca desistir, Manuela por ser esta filha maravilhosa e feliz, pelo amor, beijos e abraços.

A minha esposa Dora pelo amor, parceria, pela paciência nos meus momentos difíceis, por incentivar e acreditar sempre que ia dar certo, por me dar a mão e me ajudar seguir adiante, amo você!

A minha família, meus pais Argemiro e Nazaré pela vida, por tudo que fazem por mim, ensinamentos, amor, educação e as preces para que não falte proteção e luz na minha caminhada. A minha irmã querida Kelly, minha sobrinha que eu amo Clara e meu cunhado Ríquel por sempre estarem do meu lado me ajudando e incentivando.

Aos meus compadres Danielle e Ricardo, pelo incentivo, carinho e força quando eu mais precisei e as minhas afilhadas Alice e Malu que tanto amo. A minha sogra Cyrene pelas orações de luz e proteção.

Aos familiares e amigos que torceram pelo meu sucesso em especial João Batista, José Geraldo Coura, Carlinhos e Nathália, os meus amigos da vida que me acompanham na minha jornada. Agradecimentos ao meu saudoso amigo Raphael (*in memoriam*) que nos deixou logo após esta conquista.

À Profa. Dra. Jacqueline Aparecida Takahashi, pela confiança em mim depositada, por ter me direcionado para doutorado direto, pela orientação, ensinamentos, paciência, parceria, amizade, pelo tempo dedicado em nossas longas conversas, meu eterno obrigado.

À Dra. Izabela Dutra Alvim do ITAL, pela colaboração e apoio no desenvolvimento do projeto, além dos ensinamentos, parceria e amizade, você é especial.

À Profa. Dra. Flávia Gonçalves pelo incentivo, amizade e parceria.

Aos membros da banca de qualificação e da tese por dedicarem seu tempo na leitura e análise da tese, contribuindo para que este trabalho se torne relevante para a ciência.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, pelos ensinamentos, amizade, contribuições e apoio.

Aos técnicos, funcionários e colegas do Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos, do Departamento de Química e do Laboratório de Biotecnologia e Bioensaios pelos ensinamentos, amizade e apoio nos momentos felizes e difíceis, estamos juntos nesta conquista.

À Universidade Federal de Minas Gerais e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos pela oportunidade de realização do trabalho.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado, que possibilitou a realização desta pesquisa. Também a CAPES, FAPEMIG e INCTBioNat, pelos recursos que apoiam os projetos do Laboratório de Biotecnologia e Bioensaios.

Ao parceiro e produtor de cacau Marcelo Abrantes da Fazenda Porto Esperança, pela troca de conhecimento, parceria e por todo apoio fornecendo material para este estudo.

E finalmente a Ele, sem Ele o universo não reuniria tantas pessoas especiais para me ajudar no cumprimento desta missão. Obrigado Deus por erguer minha cabeça nos momentos difíceis, pela força, resiliência, luz nessa parte da minha história.

A todos muito obrigado!

*Eu gosto do impossível porque
lá a concorrência é menor.*

Walter Elias Disney

RESUMO

A procura por novos antioxidantes a partir de produtos naturais, frutas e seus resíduos, faz do mel de cacau uma alternativa para o aproveitamento econômico de subprodutos da cadeia produtiva do cacau e chocolate. De cor transparente, sabor azedo e doce, textura mucilaginosa, este mel é rico em açúcares redutores, fibras dietéticas, vitamina C e compostos fenólicos bioativos com considerável capacidade antioxidante, tornando-se um resíduo com potencial para aplicações tecnológicas na indústria de alimentos. Cacau e seus derivados sempre foram utilizados como base para o desenvolvimento de formulações de alimentos e bebidas funcionais, mas o teor de compostos bioativos, incluindo os polifenóis pode variar dependendo de alterações durante a pós-colheita, processos tecnológicos e armazenamento. Novas tecnologias de processamento não térmico como irradiação gama, micro-ondas e liofilização diferem de tecnologias convencionais como pasteurização térmica por terem melhor desempenho em reter as características originais dos alimentos além de melhorar a eficiência de eliminação de patógenos e alérgenos. Mudanças na composição dos produtos processados podem ocorrer durante o armazenamento, com perdas nutricionais significativas além de afetar outras características desejáveis da qualidade. Foram caracterizados os dados físico-químicos como ° Brix, pH, acidez, atividade de água e umidade além dos compostos funcionais para melhor definição dos parâmetros de processamento. Comparando as tecnologias de processamento, a pasteurização térmica foi o processo que mais influenciou na diminuição da estabilidade dos compostos bioativos. A dose de irradiação gama de 3 kGy além de aumentar o conteúdo de compostos fenólicos em relação ao controle de 424,3 mg de ácido gálico/100 g de extrato para 431,3 ácido gálico/100 g de extrato, assegurou uma melhor manutenção destes compostos após armazenamento em temperatura controlada por 60 dias. Objetivando valorizar aproveitamento do mel de cacau na indústria foi realizado o estudo exploratório da tecnologia de *spray drying* para obtenção do mel de cacau em pó. Avaliaram-se condições de secagem utilizando mesmos parâmetros de temperatura e vazão, porém variando a proporção dos carreadores (maltodextrina, methocel e WPI) nas formulações com mel de cacau. Formulações com maltodextrina adicionada de proteína isolada de soro de leite (WPI) nas proporções 2:1 e 29:1 respectivamente,

demonstraram melhores resultados quanto ao rendimento final além de higroscopicidade. A formulação 29:1 maldodextrina e WPI demonstrou melhor retenção de compostos antioxidantes em relação às demais formulações. Aplicação de tecnologias não térmicas e a obtenção do mel de cacau em pó com adição de proteína, além de agregar valor nutricional e econômico ao subproduto, mostra-se como potenciais inovações para a cultura do cacau e a indústria alimentícia. Essas tecnologias podem compor os processos para uma biorrefinaria desempenhando papel importante no desenvolvimento sustentável e valorização do mel de cacau.

Palavras-chave: Cacau. Resíduos. Compostos antioxidantes. Processamento. *Spray drying*.

ABSTRACT

The demand for new antioxidants from natural products, fruits and their residues make cocoa honey an alternative for the economic use of by-products of cocoa production. Transparent in color, sour and sweet flavor, mucilaginous texture, it is rich in reducing sugars, dietary fibers, vitamin C and bioactive phenolic compounds with considerable antioxidant capacity, being a residue with potential for technological applications in the food industry. Cocoa and derivatives have always been used as a basis for the development of functional food and beverage formulations, but the content of bioactive compounds including polyphenols may vary depending on changes during post-harvest, technological processes and storage. New non-thermal processing technologies such as gamma irradiation, microwaves and freeze-dried differ from conventional technologies such as thermal pasteurization because they perform better in retaining the original characteristics of food and improve the efficiency of elimination of pathogens and allergens. Changes in the composition of processed products may occur during storage, with significant nutritional losses in addition to decreased quality. It was characterized the physical-chemical data such as ° Brix, pH, acidity, water activity and humidity in addition to the functional compounds for better definition of processing parameters. Comparing the processing technologies, thermal pasteurization was the process that most influenced the maintenance of the stability of bioactive compounds. The gamma irradiation dose of 3 kGy in addition to increasing the content of phenolic compounds in relation to the control of 424.3 mg of galic acid/100 g of cocoa honey to 431.3 galic acid/100 g of cocoa honey, ensured better maintenance of these compounds after storage at controlled temperature for 60 days. Aiming to value the use of cocoa honey in the industry, an exploratory study of spray drying technology was carried out to obtain cocoa honey powder. Drying conditions were evaluated using the same temperature and flow parameters but varying the proportion of carriers in the formulations with cocoa honey. Formulations with maldodextrin added whey protein (WPI) in the proportions 2:1 and 29:1, respectively, showed better results regarding final yield in addition to hygroscopicity. The formulation 29:1 maldodextrin plus WPI showed better retention of antioxidant compounds, compared to the former. Application of non-thermal technologies and obtaining cocoa honey powder with

added protein in addition to adding nutritional and economic value to the by-product are potential innovations for cocoa culture and the food industry. These technologies can make up the processes for a biorefinery playing an important role in the sustainable development and enhancement of cocoa honey.

Keywords: Cocoa. Waste. Antioxidant compounds. Processing. Spray drying.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Partes do fruto de cacau	30
Figura 2 - Obtenção do mel de cacau	31
Figura 3 - Aspecto do mel de cacau	33
Figura 5 - Conteúdo de glicose, frutose e sacarose do mel de cacau.....	34

Capítulo 1

Figura 1- Proposta de processamento integrado em biorrefinaria de cacau	64
Figura 2 - Etapas de obtenção do mel de cacau no sistema de pós-colheita.....	63
Figura 3 - Liofilizador e produto obtido após a secagem.....	72
Figura 4 - Representação gráfica do efeito das diferentes doses de irradiação gama no conteúdo de fenólicos totais do mel de cacau após processamento no tempo 0, e após armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração (4 ± 2 °C) por 60 dias.....	77
Figura 5 - Representação gráfica do efeito das diferentes doses de irradiação gama no conteúdo de flavonoides totais do mel de cacau após processamento no tempo 0, e após armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração (4 ± 2 °C) por 60 dias.....	79
Figura 6 - Representação gráfica do efeito das diferentes doses de irradiação gama na atividade antioxidante total do mel de cacau após processamento no tempo 0, e submetido a armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração 4 ± 2 °C por 60 dias.....	81
Figura 7 - Mudanças provocadas pelo efeito da irradiação gama na cor do mel de cacau.....	82

Capítulo 2

Figura 1 - Mini Spray dryer B290.....	107
Figura 2 – Raspagem da câmara de secagem do mini <i>spray dryer</i>	110
Figura 3 - Aspecto das amostras de mel de cacau seco adicionado de excipientes recuperadas na câmara de secagem do mini <i>spray dryer</i>	113

Figura 4 - Recuperação de sólidos no coletor/ciclone (rendimento) após a secagem do mel de cacau utilizando excipientes	116
Figura 5 - Aparência dos desidratados após a análise de higroscopicidade no tempo (T0) e após 6 meses de estocagem (T6).....	119
Figura 6 - Comparação de curvas de distribuição de tamanho de partículas para amostras de mel de cacau contendo diferentes excipientes secas por spray drying logo após o tempo 0 (T0)	122
Figura 7 - Comparação de curvas de distribuição de tamanho de partículas para amostras de mel de cacau contendo diferentes excipientes secas por spray drying logo após o 6 meses de estocagem (T6)	122
Figura 8 - Comparação de curvas de distribuição de tamanho de partículas para amostras de mel de cacau contendo diferentes excipientes secas por spray drying logo após o processamento (T0) e com seis meses de armazenamento (T6).....	123
Figura 9 - Aparência das amostras de mel de cacau, contendo diferentes excipientes, secas por <i>spray drying</i> logo após o processamento (T0) e com 6 meses de armazenamento (T6). Régua de 50 micrômetros.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição e avaliação nutricional do mel de cacau.....	35
Tabela 2 - Alguns minerais relatados no mel de cacau.....	37
Tabela 3 - Patentes de mel de cacau e polpa de cacau.....	42

Capítulo 1

Tabela 1 - Dados físico-químicos do mel de cacau <i>in natura</i>	74
Tabela 2 - Valores para fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante total após aplicação das tecnologias de processamento no tempo 0 e após 60 dias de armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração.....	84

Capítulo 2

Tabela 1 - Formulações de mel de cacau e excipientes para secagem.....	106
Tabela 2 - Teor de umidade e sólidos totais dos ingredientes das formulações.	118
Tabela 3 - Resultados de análises físicas das amostras de mel de cacau secas por <i>spray drying</i> utilizando diferentes carreadores	118
Tabela 4 - Resultados para distribuição granulométrica das amostras de mel de cacau secas por <i>spray drying</i> utilizando diferentes excipientes.	121
Tabela 5 – Teores, eficiência de retenção e porcentagem de perdas de polifenóis no mel de cacau em pó, proveniente de diferentes tratamentos no tempo inicial 0 (T) e após 6 meses de estocagem (T6).....	126

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AISA - Associação Marfinense de Ciências Agrônomicas
AOAC - Associação de Químicos Agrícolas Oficiais
aW – Atividade de água
B.O.D. – Incubadora com Demanda Bioquímica de Oxigênio
CE – Comunidade Europeia
CDTN – Centro de Desenvolvimento de Tecnologia Nuclear
CIRT - Centro Marfinense de Pesquisa Tecnológica
EFSA – Autoridade Europeia de Segurança Alimentar
EUA – Estados Unidos da América
FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação
IAC – Instituto Agrônomico
ICCO - ITAL – Instituto de Tecnologia de Alimentos
MC - Methocel
MD – Maltodextrina
MEL – Mel de cacau
MEV – Microscopia Eletrônica de Varredura
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas
OMS – Organização Mundial da Saúde
SENAI – Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SST – Sólidos solúveis totais
Tg – Temperatura de transição vítrea
UESB – Universidade do Estadual do Sudoeste da Bahia
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UFRB – Universidade Federal do Recôncavo Baiano
UFSJ – Universidade Federal de São João Del Rey
UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
USP – Universidade de São Paulo
UV-VIS – Ultravioleta visível
WPI – Isolado proteico de soro de leite
WHO – Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
2	OBJETIVOS	23
2.1	Objetivo geral.....	23
2.2	Objetivos específicos	23
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
	RESUMO.....	24
3.1	Histórico do cacau	25
3.2	Mercado e desafios.....	25
3.3	Produção de cacau	27
3.4	Produção de mel de cacau durante o processamento do fruto cacau	29
3.5	Identidade do mel de cacau.....	33
3.6	Processamento de mel de cacau.....	37
3.7	Potencial tecnológico do mel de cacau na indústria alimentícia	39
3.8	O futuro do mel de cacau.....	45
4	CONCLUSÃO	46
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
	CAPITULO 1	60
	RESUMO.....	60
1	INTRODUÇÃO	61
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.1	Material.....	68
2.1.1	<i>Obtenção do mel de cacau</i>	<i>68</i>
2.1.2	<i>Equipamentos</i>	<i>69</i>
2.2	Métodos.....	69
2.2.1	<i>Determinação de acidez, pH, sólidos solúveis totais, atividade de água (aW) e umidade do mel de cacau in natura.</i>	<i>69</i>
2.2.2	<i>Fenólicos totais.....</i>	<i>70</i>
2.2.3	<i>Flavonoides totais.....</i>	<i>70</i>
2.2.4	<i>Avaliação da atividade antioxidante total (método de fosfomolibdênio).....</i>	<i>70</i>
2.2.5	<i>Irradiação gama.....</i>	<i>71</i>
2.2.6	<i>Liofilização.....</i>	<i>71</i>

2.2.7	<i>Pasteurização 65 °C</i>	72
2.2.8	<i>Pasteurização assistida por micro-ondas</i>	72
2.2.9	<i>Estudo de armazenamento refrigerado</i>	73
2.2.10	<i>Análise estatística</i>	73
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73
3.1	Determinação de acidez titulável, atividade de água (aW), pH, sólidos solúveis totais e umidade.	73
3.2	Avaliação do efeito da irradiação gama nos conteúdos de fenólicos totais, flavonoides totais e na atividade antioxidante total	76
3.3	Avaliação das tecnologias de processamento nos conteúdos de fenólicos totais, flavonoides totais e na atividade antioxidante total, conforme o tempo de armazenamento sob refrigeração a 4 ± 2 °C.....	83
4	CONCLUSÃO	88
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
	CAPITULO 2	102
	RESUMO.....	102
1.	INTRODUÇÃO.....	103
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	106
2.1	Materiais	106
2.2	Métodos.....	106
2.2.1	<i>Determinação do teor de umidade</i>	108
2.2.2	<i>Determinação de tamanho de partículas por difração a laser</i>	108
2.2.3	<i>Determinação de atividade de água (aW)</i>	108
2.2.4	<i>Determinação da higroscopicidade</i>	109
2.2.5	<i>Morfologia</i>	109
2.2.6	<i>Determinação do teor de compostos fenólicos totais</i>	109
2.2.7	<i>Análise estatística</i>	109
3.	Resultados e discussão	110
3.1	Processo de secagem	110
3.2	Caracterização dos ingredientes	118
3.3	Caracterização das amostras de mel de cacau em pó	118
3.4	Morfologia	124
4.	CONCLUSÃO	128

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	129
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	136

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de destaque na produção de frutas, ocupando o terceiro lugar mundial, graças à sua extensão territorial privilegiada, aliada às condições adequadas de clima e do solo. Porém, durante a colheita, pós-colheita e industrialização destas frutas, são geradas toneladas de resíduos, os quais são, na maioria das vezes, descartados de maneira inadequada, acarretando problemas ambientais devido ao seu elevado teor de compostos orgânicos. Além disso, os resíduos agroindustriais representam perdas de matérias-primas, biomassa, nutrientes e energia (MARTINS *et al.*, 2019).

A utilização efetiva de resíduos e subprodutos alimentares tem um enorme potencial para a obtenção de ingredientes funcionais (GRANATO; NUNES; BARBA, 2017). Em frutas e seus resíduos, podem ser encontrados vários compostos de alto valor biológico para os seres humanos como polissacarídeos, antioxidantes, polifenóis, óleos essenciais, pigmentos, proteínas, compostos aromatizantes, enzimas e fibras alimentares. A valorização destes compostos pode ser alcançada por meio da identificação, separação, extração e aplicação no desenvolvimento de alimentos funcionais como, por exemplo, adição de brotos de alfafa em massas alimentícias frescas, adição de farelo de cacau em cookies e adição de farinha de sementes de jaca em alimentos nutracêuticos (DE BARROS, 2019; TONETTO *et al.*, 2019; WAGHMARE *et al.*, 2019).

Dentre os compostos naturais bioativos, destacam-se principalmente os antioxidantes naturais, capazes de prevenir ou reduzir os danos do estresse oxidativo causados pelo envelhecimento. Antioxidantes têm forte relação contra desenvolvimento de várias condições patológicas, incluindo síndrome metabólica, obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares, câncer e doenças neurodegenerativas (MARGANARIS, 2018; FORNI *et al.*, 2019).

O consumo e a pesquisa de alimentos para uma vida saudável é a tendência que tem maior relevância e impacto para as indústrias modernas de alimentos, o que inclui produtos com alto teor nutricional adicionados de novos antioxidantes a partir de produtos naturais (GOMES; TAKAHASHI, 2016; HERNÁNDEZ *et al.*, 2019).

O cacau sempre foi associado com a produção e exploração econômica de suas amêndoas para produção de chocolate (VOIGT *et al.*, 2018). Na cadeia produtiva do chocolate, é gerada uma quantidade significativa de resíduos, dos quais os principais são a casca do cacau, a polpa e o mel de cacau.

O mel de cacau tem cor transparente, sabor azedo e doce, textura mucilaginosa, é rico em açúcares redutores, fibras dietéticas, vitamina C e compostos fenólicos bioativos com considerável capacidade antioxidante (SILVA *et al.*, 2014; LEITE *et al.*, 2019).

O teor de compostos bioativos, incluindo os polifenóis, nos produtos de cacau e derivados pode variar dependendo do grau de maturação do cacau, genótipo, alterações durante a pós-colheita, processos tecnológicos e armazenamento. Estas alterações podem ocorrer devido à instabilidade dos compostos antioxidantes, às condições tecnológicas de processamento e armazenamento, podendo influenciar na qualidade final dos produtos derivados de cacau, inclusive reduzir sua capacidade funcional (FEBRIANTO; ZHU, 2019; N'Zi *et al.*, 2017).

O desenvolvimento e a aplicação de tecnologias apropriadas para elaboração e conservação de novos alimentos e bebidas com características químicas e sensoriais mais próximas das características naturais a partir de subprodutos como o mel do cacau são importantes para agregar valor, minimizar o desperdício agrícola, diversificar a indústria de alimentos, gerar renda e promover sustentabilidade da exploração da cultura do cacau.

Existe uma lacuna de trabalhos que avaliem o mel de cacau como ingrediente e seu uso tecnológico. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar as potencialidades do mel de cacau quanto aos seus atributos, novos métodos de processamento e aplicações tecnológicas, valorizando a estabilidade dos compostos antioxidantes como garantia da qualidade visando utilização na indústria alimentícia.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar e estudar métodos de processamento e conservação do mel de cacau.

2.2 Objetivos específicos

Realizar uma revisão de literatura sobre mel de cacau quanto aos seus atributos físico – químicos, biológicos e potencial tecnológico.

Avaliar tecnologias de processamento aplicadas ao mel de cacau visando a valorização como coproduto agrícola.

Realizar o estudo exploratório para obtenção do mel de cacau em pó através do processo de secagem por atomização.

3 REVISÃO DE LITERATURA

Produção científica

GUIRLANDA, C. P.; DA SILVA, G. G.; TAKAHASHI, J. A. Mel de cacau: resíduos agroindustriais ou subproduto de cacau subutilizado? **Future Foods**, v. 4, p. 100061, 2021.

RESUMO

O mercado global de cacau e chocolate deve atingir 169 bilhões de euros até 2026 devido a fatores como o crescimento de produtos de confeitaria em países asiáticos e o aumento da demanda por produtos à base de cacau *premium*. Além disso, há uma demanda crescente por produtos com alto teor de cacau e de chocolates orgânicos. As flutuações internacionais dos preços das *commodities* e a pandemia do COVID-19 tiveram impacto negativo nos preços do mercado global, influenciando também a eficiência da economia circular. Portanto, a cadeia produtiva do cacau enfrenta o desafio de encontrar formas sustentáveis de aumentar a produção, atendendo às demandas da sociedade moderna. Desenvolvimentos inovadores nessa área incluem agregar valor aos resíduos, que respondem por aproximadamente 80% da fruta. O mel de cacau é um suco translúcido produzido durante o processo de fermentação do cacau, com características químicas e sensoriais semelhantes às da polpa de cacau. Este suco tem alto teor de pectina, minerais e frutose e potencial tecnológico para desenvolver novos produtos. Seu sabor doce, por exemplo, pode ser explorado nos preparos alimentares como um substituto natural para o açúcar refinado. Esta revisão teve como objetivo elucidar a importância nutricional, tecnológica e econômica do uso desse subproduto comestível subutilizado por meio de aplicações inovadoras na indústria de alimentos e bebidas.

Palavras-chave: Mel de cacau. Chocolate. Resíduos. Desenvolvimento de produtos.

3.1 Histórico do cacau

O cacau foi explorado pelo povo mesoamericano na região da floresta úmida ao longo da bacia do rio Orinoco, uma região quente da América Central, provavelmente desde 1000 a.C. Este fruto perene foi usado como ingrediente na preparação de uma bebida forte, amarga e picante consumida durante rituais políticos e religiosos pelos maias e astecas (MODA; BOTEON; RIBEIRO, 2019). Em 1737, a espécie foi nomeada *Theobroma cacao* pelo botânico sueco *Carl von Linné* e o termo cacau "alimento dos deuses" refere-se à origem divina que os povos antigos atribuíram a este fruto. Com as expansões marítimas, o cacau foi levado pelos exploradores espanhóis para a Europa no século XVI, onde a bebida amarga a base de cacau foi modificada, e novas receitas contendo açúcar e leite foram desenvolvidas e incorporadas à dieta europeia (HENDERSON *et al.*, 2007). Atualmente, o cacau e seus derivados estão presentes em dietas em todo o mundo.

O frutos do cacau são produzidos em zonas tropicais, que apresentam condições climáticas favoráveis para a planta, principalmente na África Ocidental, incluindo Costa do Marfim, Gana, Nigéria e Camarões, mas também na Indonésia, América do Sul incluído Equador, Colômbia e Brasil e Papua Nova Guiné (Statisca, 2021).

O *Theobroma cacao* L. se divide em quatro variedades principais conforme figura 1. A variedade Nacional a mais rara e caracteriza-se pelo seu sabor mais apurado, sendo menos amargo e mais aromático, tendo assim maior valor económico, o Forasteiro a variedade mais cultivada no mundo, com cerca de 80% da produção, pois é mais resistente a doenças e possui maior produtividade, o Criollo que é o fruto nativo e o Trinitário que é variedade híbrida entre o Criollo e o Forasteiro (SOARES; OLIVEIRA, 2022).

3.2 Mercado e desafios

A exploração econômica do cacau baseia-se principalmente no uso de suas sementes (muitas vezes chamadas de "amêndoas") pelas indústrias de processamento de chocolate. Misevic *et al.* (2020) projetaram que o tamanho global

do mercado de confeitaria de chocolate de 116,79 bilhões de euros em 2017 irá ultrapassar 169 bilhões de euros em 2026. Estima-se que o mercado europeu global sozinho possa alcançar até US\$ 57 bilhões até 2024 (MORDOR INTELLIGENCE, 2019). Além disso, a região Ásia-Pacífico é um forte mercado para ingredientes de cacau, com aumento esperado de 4,5% no consumo entre 2015-2020, em comparação com 1,7% em todo o mundo (EUROMONITOR, 2016). Fatores como o crescimento da confeitaria em países como China e Índia e o aumento da demanda por produtos saudáveis de confeitaria e alimentos *premium* são alguns dos incentivos para novos negócios no mundo do cacau contemporâneo. Outro fator estimulante para o crescimento do mercado é a crescente demanda por produtos com alto teor de cacau e por chocolates orgânicos (JAMBOR; TOTH; KOROSHEGYI, 2017).

O cacau é, portanto, uma mercadoria estratégica, mas como produto de exportação, seu mercado é prejudicado pelas flutuações internacionais de preços. A pandemia COVID-19 afetou o mercado de cacau, reduzindo a demanda global e a estabilidade de diversas cadeias logísticas. Estimou-se aumento de 1,7% na produção mundial de cacau em 2019, antes da interferência do COVID-19 (GINATTA; VIGNATI; DEL CARMEN, 2021). Um bom exemplo de questões logísticas é a dificuldade relacionada ao transporte internacional de contêineres de derivados de cacau. Os negócios de artesanato e chocolate foram os mais afetados pelo cancelamento de eventos da indústria e fechamento de lojas especializadas em chocolate de alta qualidade na tendência global recessiva. Em algumas fazendas de cacau localizadas em áreas isoladas, a produção foi mantida apesar das restrições nas atividades laborais e na entrega de suprimentos. No entanto, foi observado aumento das vendas de chocolate em muitos países durante o distanciamento social causado pela COVID-19. Esse aumento pode estar relacionado à venda de chocolate e derivados no varejo de alimentos e via *e-commerce*. Além disso, o chocolate pode ser "uma fonte de indulgência e conforto que os consumidores procuram em tempos de incerteza" (CBI, 2020). A extensão dos efeitos da pandemia COVID-19 nesta *commodity* dependerá de muitos fatores: (i) perfil da demanda por chocolate em um futuro próximo; (ii) extensão dos efeitos da pandemia na Costa do Marfim e Gana, que são responsáveis por aproximadamente 60% da produção global de cacau; (iii) extensão das rupturas econômicas na cadeia produtiva e de

distribuição; (iv) mudanças no poder aquisitivo dos consumidores atuais de chocolate e derivados (CBI, 2020).

Várias alternativas têm sido propostas para manter o equilíbrio econômico do mercado de cacau preservando a biodiversidade local, como a diversificação da produção e, no caso da agricultura familiar, o uso de sistemas agroflorestais (DJUIDEU *et al.*, 2021). Adaptar a cadeia do cacau aos desafios internacionais atuais requer uma capacidade inovadora e, independentemente do cenário atual, a tendência aponta para uma crescente demanda por chocolate com alto teor de cacau e por produtos com experiências de consumo diferenciadas.

3.3 Produção de cacau

Aproximadamente 4,834 milhões de toneladas de cacau foram produzidas em todo o mundo em 2018/19 para atender à demanda por este produto. Esse valor corresponde a um aumento de 3,9% em relação a 2017/18. De acordo com a Organização Internacional do Cacau (ICCO, 2019), atualmente, 85% da produção global de grãos de cacau está concentrada em sete países: Costa do Marfim, Gana, Equador, Camarões, Nigéria, Indonésia e Brasil. Por outro lado, o processamento e a industrialização do cacau predominam em regiões que não produzem o fruto, como a Europa (37%) e os EUA (8%). Algumas das maiores indústrias de chocolate estão localizadas na Europa, EUA e Japão, mas a produção de cacau fora desses países reduz custos e é uma estratégia para aumentar a valorização dos produtos de cacau de sabor fino e artesanal nos mercados domésticos (ESCOBAR-OSÓRIO *et al.*, 2020). Ao contrário dos outros grandes países produtores de cacau, o Brasil tem uma cadeia produtiva bem estabelecida: produz a fruta, detém um parque industrial de processamento de grãos de cacau e fabrica chocolate (CONCEIÇÃO; MACEDO; PIRES, 2020).

Além dos problemas da economia mundial na década de 2020, as mudanças climáticas podem causar uma redução severa na produção de cacau na África Ocidental, uma região que concentra aproximadamente 70% da produção global de cacau. De acordo com Ginatta *et al.* (2020), também são necessários esforços para superar desafios como baixa produtividade, mudanças climáticas e

segurança alimentar no cacau latino-americano, visando o aumento do padrão de qualidade e diversidade de sabores, com respeito ambiental.

A produção de cacau no Brasil está concentrada principalmente nos estados da Bahia e Pará. Embora tenha sido verificado um declínio no início da década de 1990 devido a doenças do cacau e fatores socioeconômicos, o estado da Bahia, onde estão disponíveis aproximadamente 70 marcas de chocolate derivados do cacau de origem, tem sido bem sucedido no aumento da produtividade por hectare e na verticalização da cadeia produtiva em sua região sul. A expansão do cacau impulsionada por *commodities* atingiu o sudeste do Pará (SCHROTH *et al.*, 2016) e a produção no estado do Pará representa 40% e o estado da Bahia com produção cerca de 54,13% (CONCEIÇÃO; MACEDO; PIRES, 2020).

No Equador, novos desenvolvimentos no processo de fermentação do cacau resultaram em menor tempo de produção e melhoria na qualidade do aroma. Porém, as inovações implementadas não exigem o uso de uma grande quantidade de mucilagem para iniciar a fermentação, aumentando o volume de descarte deste subproduto. O uso artesanal do mel de cacau (suco de mucilagem de cacau) tem sido empregado por um pequeno segmento como forma de aumentar a renda dos produtores de médio porte. O Equador está trabalhando para introduzir os critérios ISO 34101 para a produção sustentável de cacau (cacau *premium*, orgânico e sustentável) como estratégia de diferenciação (GINATTA; VIGNATI; DEL CARMEN, 2020).

No Peru, a adoção de uma variedade híbrida (CCN-51) resultou em aumento de seis vezes na produção de cacau de 1998 a 2018, quando o rendimento atingiu 800 kg/ha (BLARE; CORRALES; ZAMBRINO, 2021). Segundo Pisco-Caldas (2019), são obtidos 0,59 kg de mel de cacau (exsudado) para cada quilo de amêndoa seca no Peru. Com o objetivo de reduzir o impacto ambiental consequente do descarte deste produto, tem sido preparada uma bebida com mel de cacau e soro de leite, outro resíduo subutilizado. A margem de lucro mínima calculada para a negociação deste suco experimental foi de 40,7%.

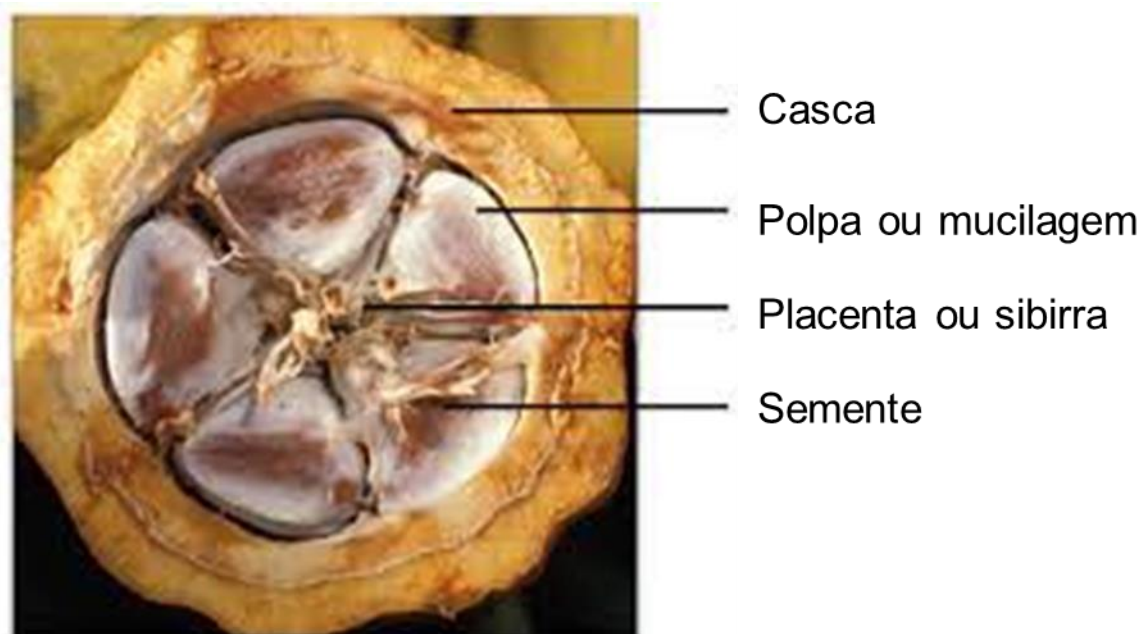
Na Colômbia, existem muitas práticas e cenários interessantes que visam aumentar a tecnologia e a qualidade da produção de cacau, incluindo mudanças no sistema de fermentação para permitir a drenagem adequada do mel de cacau durante esse processo. Embora a Colômbia ainda esteja lutando para melhorar a

classificação do cacau produzido internamente e aumentar a participação no mercado, o país apresenta condições ambientais que favorecem a produção de produtos *premium* de cacau, e aproximadamente 95% de sua produção compreende cacau de sabor fino (ESCOBAR-OSÓRIO *et al.*, 2020). A produção de cacau de sabor fino depende de muitos fatores, incluindo condições fermentativas, que são importantes para manter características sensoriais de chocolate para diferenciar fino do sabor a granel (SANTANDER *et al.*, 2021).

A Costa do Marfim é responsável por aproximadamente 40% da produção global de cacau, proporcionando renda para 20% de sua população. No entanto, o aquecimento global afetou a produção marfinense, com graves consequências econômicas na última década (KOISSY; N'ZU, 2020). Em Gana, o cacau é o produto de exportação mais importante e a maior atividade para 30% de sua população. A produção local compreende principalmente licor de cacau, manteiga de cacau, cacau em pó e bolo prensado de cacau, juntamente com uma pequena produção de produtos de confeitaria (ABOUD; SAHINLI, 2019). Apesar da baixa produtividade, o cacau ganês tem reputação internacional proeminente por causa de sua alta qualidade, e a maior parte de sua produção é para exportação (VICTOR *et al.*, 2010).

3.4 Produção de mel de cacau durante o processamento do fruto cacau

As frutas de cacau (vagens) têm uma casca grossa recheada com sementes (amêndoas) embutidas em uma polpa branca mucilaginosa conforme figura 1. Após a colheita, as frutas são abertas ou quebradas, ainda no campo, e as sementes são removidos junto com a polpa (ROJO-POVETA *et al.*, 2020).

Figura 1 – Partes do fruto de cacau

Fonte: Própria autoria

Esse processo resulta em uma massa de grãos de cacau e, ainda no campo, um processo de fermentação espontânea é imediatamente iniciado. A fermentação continua em cochos que consiste em um passo importante para remover a polpa mucilaginosa e desenvolver precursores do sabor do chocolate. Existem várias espécies de microrganismos que desempenham um papel importante na hidrólise e solubilização da mucilagem da polpa de cacau. Enzimas pectinolíticas que atuam no início da etapa de fermentação degradam a pectina e, portanto, diminuem a viscosidade da massa de cacau, facilitando a incorporação de oxigênio e estimulando o crescimento de bactérias acéticas, que continuam o processo de fermentação (CHAGAS JUNIOR; FERREIRA; LOPES, 2021). A análise metagenômica da microbiota envolvida na fermentação clássica e espontânea do cacau foi publicada recentemente (ALMEIDA *et al.*, 2020). Após a fermentação, os grãos de cacau são secos, torrados, aquecidos, esmagados e as cascas são removidas. Em seguida, *nibs*, manteiga e amêndoas resultantes são utilizadas na produção de chocolate e produtos de confeitaria.

Da pós-colheita à produção de grãos seco, a indústria do cacau gera uma quantidade significativa de resíduos agroindustriais, como concha de vagem, casca

de celulose e sementes (RUESGAS-RAMÓN *et al.*, 2019). Além desses resíduos, o suco azedo-doce é drenado como resultado da liquefação da polpa devido à ação enzimática sobre a pectina (DE VUYST; LEROY, 2020; DÍAZ-MUÑOZ *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2014). A produção deste subproduto começa durante a quebra de frutas no campo, continua durante o transporte para o local de fermentação, que é drenado principalmente durante a etapa de fermentação da pasta de cacau. O processo é tradicionalmente realizado com prensas de madeira, mas equipamentos de aço inox já foram introduzidos em algumas fazendas, com a vantagem de reduzir contaminação por microrganismos e aumento do volume de suco obtido, sem influenciar as características do produto (ABBALLE *et al.*, 2021). A Figura 2 mostra algumas etapas do processamento de frutas de cacau.

Figura 2 - Obtenção do mel de cacau



A Imagens de processamento de frutas de cacau para obter grãos de cacau. A: Fruta de cacau intacta; B: Vagem de cacau aberta mostrando a casca grossa ao redor das sementes embutidas na polpa branca mucilaginosa; C: Cacau fruto quebrado expondo a casca interna; D: Mel de cacau pingando da mucilagem; E: Fermentação de grãos de cacau; F: Grãos de cacau seco; G: Mel de cacau

Fonte: Própria autoria e imagens gratuitas de Pixabay

Este suco translúcido tem características químicas e sensoriais semelhantes às da polpa original e é chamado regionalmente de mel de cacau (*miel de cacao* em espanhol; *cocoa honey* em inglês) (SANTOS *et al.*, 2014), também citado na literatura como suor de cacau e exsudado (BALLADARES *et al.*, 2016; VÁSQUEZ *et al.*, 2019). O nome mel de cacau refere-se às características macroscópicas e sabor deste suco, que se assemelha às qualidades sensoriais do mel de abelha, como o sabor doce, embora não seja um produto apícola.

Com o aumento contínuo da demanda global por cacau e chocolate, a indústria enfrenta o desafio de aumentar a produção e a sustentabilidade na cadeia produtiva do cacau. O desenvolvimento de usos inovadores de resíduos de cacau (conchas, mucilagem e mel), que respondem por aproximadamente 80% das frutas de cacau, é de grande importância para os países produtores.

Produtores artesanais, comunidades extrativistas e cooperativas de alimentos usualmente exploram comercialmente produtos como bebidas alcoólicas, xaropes, geleias e licores, elaborados com mel de cacau (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021).

Uma questão inicial e extremamente importante para acelerar o desenvolvimento de produtos à base de mel de cacau está no pequeno número de relatórios científicos e, portanto, dos dados científicos, que este subproduto apresenta na literatura internacional. Além disso, a maioria das teses, artigos e relatórios publicados sobre o mel de cacau até hoje foram desenvolvidos em países produtores de cacau e, portanto, foram publicados principalmente em línguas locais, como português e espanhol, limitando a disseminação de informações. A aparência do mel de cacau é mostrada na Figura 3.

Figura 3 - Aspecto do mel de cacau

Fonte: Própria autoria

3.5 Identidade do mel de cacau

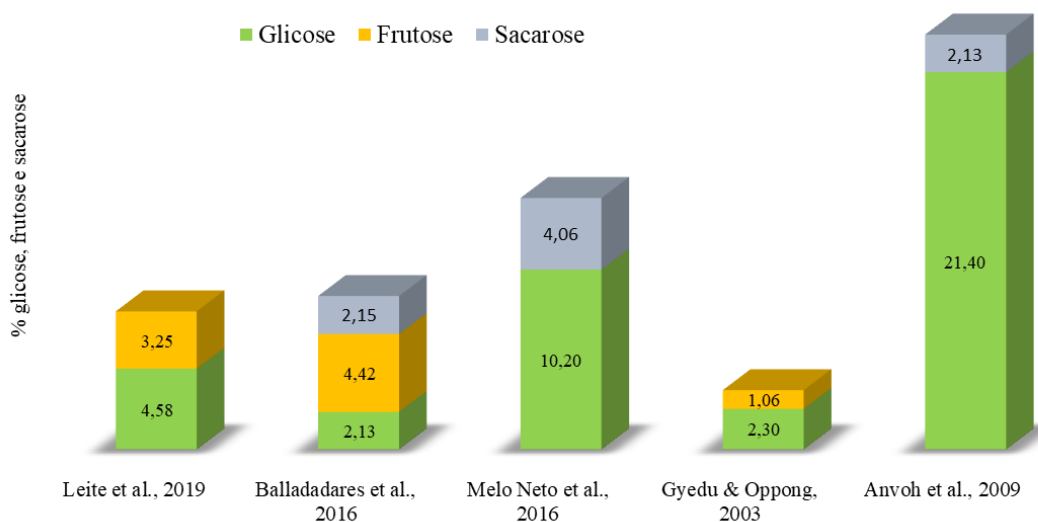
Algumas características físico-químicas e constituição do mel de cacau descritas na literatura são apresentadas na Tabela 1. O mel de cacau é rico em carboidratos e açúcares totais, é ácido, tem baixo teor percentual de cinzas (~ 0,2%) (MELO NETO *et al.*, 2016; SANTOS *et al.*, 2014), baixo perfil de gordura (< 3,54% lipídios) e possui minerais como cálcio, magnésio e fósforo (ANVOH; ZORO; GNAKRI, 2009). O teor médio de fibras alimentares total no mel de cacau é inferior a 1% (Tabela 1), embora Vásquez *et al.* (2019) tenham relatado 16,89%. O teor total de sólidos solúveis de 14,03 °Brix (MELO NETO *et al.*, 2016) foi descrito para uma amostra de mel de cacau de origem brasileira. Balladares *et al.* (2016) relataram maior teor total de sólidos solúveis (19,6 °Brix) para um mel de cacau equatoriano.

Em relação ao pH, a literatura tem valores médios relatados entre 2,76 (amostra brasileira) (MELO NETO *et al.*, 2016) e 3,58 (amostra equatoriana) (BALLADARES *et al.*, 2016), corroborando o sabor ácido deste produto. A acidez natural é um fator importante para limitar o desenvolvimento de alguns

microrganismos contaminantes, tornando o meio restrito a bactérias lácticas e acéticas, bolores e leveduras. Como um suco azedo naturalmente aromatizado, apresenta açúcares redutores, variando entre 8 e 10% em amostra brasileira e 6,39% na amostra equatoriana estudada por Balladares *et al.* (2016). Essas diferenças podem estar relacionadas tanto à origem diferente quanto às condições das análises, uma vez que as frutas de cacau utilizadas em alguns experimentos relatados na literatura foram contaminadas por patógenos como *Moniliophthora perniciosa* (vassoura de bruxa), *M. roreri*, ou *Phytophthora palmivora* (BALLADARES *et al.*, 2016).

Glicose (2,13-21,4%), frutose (1,06-4,42%) e sacarose (2,13-4,06%) são os principais carboidratos encontrados no mel de cacau (Figura 5) (ANVOH; ZORO; GNAKRI, 2009; BALLADARES *et al.*, 2016; GYEDU; OPPONG, 2003; LEITE *et al.*, 2019; MELO NETO *et al.*, 2016). No geral, os conteúdos de frutose, glicose e sacarose no mel de cacau são importantes para propor parâmetros de processamento, como a temperatura ideal para tratamentos térmicos e o controle de eventos de degradação associados à fermentação. Esses parâmetros também podem ser utilizados para garantir a qualidade do produto, incluindo a detecção de possíveis adulterações.

Figura 4 - Conteúdo de glicose, frutose e sacarose do mel de cacau



Os níveis de vitamina C no mel de cacau estão entre 7,64 e 10,9%. Embora essa quantidade não torne o teor de vitamina C no mel de cacau comparável com o de frutas como laranja e tangerina, um copo de suco de mel de cacau (200 mL) corresponde a mais de 20% da porção alimentar diária recomendada (SILVA *et al.*, 2014). Este subsídio está na faixa de 75-110 mg embora varie de acordo com o país, sexo e condições de saúde (CARR; LYKKESFELDT, 2020). A ingestão de mel de cacau fresco sem processamento é um hábito comum durante a produção de cacau e na comunidade próxima, aproveitando todas as propriedades nutricionais (GONZÁLES; JAIMES, 2005). A literatura sugere que sucos processados também podem reter qualidade sensorial e nutricional, incluindo o teor de vitamina C (ATUONWU *et al.*, 2020).

Tabela 1 - Composição e avaliação nutricional do mel de cacau

Fonte	Acidez (%)	Cinzas (%)	Carboidratos (%)	Densidade (g/mL)	Gorduras totais (%)	Umidade (%)	Pectina (%)	pH	Açúcares redutores(%)	Açúcares totais(%)	Teor de sólidos solúveis (°Brix)	Fibras totais (%)	Proteínas totais (%)
NUNES et al, 2020 ^a	8,33 ± 0,60 ^d	0,36 ± 0,05	19,50 ± 1,20	nr	1,45 ± 0,20	86,38 ± 0,09	0,51 ± 0,01	3,50 ± 0,01	10,41 ± 0,05	18,00 ± 0,05	17,00 ± 0,01	nr	0,62 ± 0,17
EFSA 2019 ^b	nr	0,50 ± 0,20	19,5 ± 1,20	nr	<0,2	78,70 ± 1,10	nr	nr	nr	17,00-20,00	16,00-2,00	0,80 ± 0,50	0,60 ± 0,20
LEITE <i>et al.</i> , 2019 ^c	10,34± 0,00 ^e	0,59± 0,15	11,80± 0,09	nr	0,19± 0,08	85,86± 0,09	0,36± 0,02	3,51± 0,04	nr	14,70± 8,60	13,30± 0,01	nr	1,20± 0,49
PACHECO & TRUJILLO (2019) ^c	nr	0,23	16,47	nr	0,01	82,46	nr	3,43-3,72	nr	nr	16,0-17,0	0,14	0,69
PISCO-CALDAS, 2019 ^b	0,36 ^f	0,30	nr	nr	nr	82,43	nr	4,89	nr	17,57	nr	nr	1,08
SOSA & MANAYAY, 2017 ^c	1,08	0,40	14,57	1,058	0,10	84,61	nr	3,20	2,93	15,49	16,60	0,10	0,22
BALLADARES, <i>et al.</i> , 2016 ^c	nr	nr	nr	1,10± 0,01	nr	nr	nr	3,58± 0,07	6,39	12,33	19,60± 0,57	nr	nr
MELO NETO <i>et al.</i> , 2016 ^c	0,73± 0,00 ^d	0,23± 0,00	nr	nr	nr	87,22± 0,01	nr	2,76 ±0,02	10,20± 0,00	nr	14,03± 0,06	nr	nr
TORRES VALLEJO <i>et al.</i> , 2016 ^c	0,91	nr	nr	1,076	nr	80,50	nr	3,87	nr	nr	16,00	nr	0,38
SANTOS <i>Et al.</i> , 2014 ^c	0,07± 0,00 ^d	0,26± 0,01	nr	nr	0,25± 0,02	83,21± 0,94	0,078± 0,00	3,30± 0,10	8,63± 0,04	11,30± 0,24		0,23± 0,06	1,11± 0,04
GARCIA & MORETA, 2013 ^c	1,00	0,30	nr	nr	0,10	86,50	nr	3,59	nr	nr	15,00	0,10	0,40
LUZURIAGA, 2012 ^c	1,00	0,30	nr	nr	0,,10	86,50	nr	3,78	nr	16,5	19,00	0,10	0,40
ANVOH; ZORO; GNAKRI, 2009 ^b	nr	3,76± 0,84	nr	nr	3,54± 0,20	85,30± 8,60	nr	3,75± 0,81	nr	nr	16,17± 0,74	nr	7,20± 0,21

nr: – não relatado

Cálcio, ferro, sódio, potássio e zinco são alguns dos minerais detectados no mel de cacau (Tabela 2). O teor de cálcio é notável, uma vez que seu teor no mel de cacau ($171,5 \text{ mg L}^{-1}$) é maior do que na polpa de cacau (54 mg/kg) (ANVOH; ZORO; GNAKRI, 2009; EFSA, 2019).

Tabela 2 - Alguns minerais relatados no mel de cacau

Elemento	LEITE <i>et al.</i> , 2019 (mg.100 mL^{-1})	GYEDU & OPPONG, 2003 (mg.100 mL^{-1})	ANVOH; ZORO; GNAKRI, 2009 (mg/L)
Alumínio (Al)	$0,15 \pm 0,07$	nr	nr
Bário (Ba)	$0,38 \pm 0,01$	nr	nr
Calcio (Ca)	nr	0,089	$171,5 \pm 34,01$
Cobre (Cu)	$0,07 \pm 0,00$	nr	nr
Ferro (Fe)	$1,35 \pm 0,02$	nr	nr
Magnésio (Mg)	nr	0,086	$82,5 \pm 0,81$
Manganês (Mn)	$0,30 \pm 0,01$	nr	nr
Fosforo (P)	nr	0,023	$62,47 \pm 3,43$
Potássio (K)	nr	0,090	$950 \pm 16,32$
Selênio (Se)	$0,19 \pm 0,00$	nr	nr
Sódio (Na)	$0,48 \pm 0,04$	0,085	$30,5 \pm 3,77$
Zinco (Zn)	$0,40 \pm 0,01$	nr	nr

nr = não relatado

3.6 Processamento de mel de cacau

A alta carga microbiana naturalmente presente na fruta cacauaieira, associada às condições artesanais de seu processo pós-colheita e aos materiais impróprios utilizados na construção de cochos e utensílios de fermentação, encurtam a vida útil do mel de cacau, tornando-o um produto subutilizado. Mesmo após a remoção do mel de cacau da fermentação, os microrganismos ainda estão ativos, produzindo alterações reológicas e sensoriais. Assim, um grande obstáculo ao uso do mel de cacau para preparar sucos ou como ingrediente para a indústria

alimentícia é a conservação adequada, que deve ser capaz de evitar a degradação devido ao processo de fermentação contínua.

O mel de cacau *in natura* é frequentemente congelado após sua coleta para evitar degradação durante o transporte antes do processamento (SANTOS *et al.*, 2014). As temperaturas descritas para conservação deste produto estão entre -18 a -20 °C. Pasteurização pode ocorrer (70 °C por 20 min) antes do congelamento (LEITE *et al.*, 2019). Embora os custos e efeitos do processamento do mel de cacau não sejam informados, a pasteurização térmica é um processo não econômico para sucos de laranja (SAMPEDRO *et al.*, 2013). O custo de pasteurização (processamento) e refrigeração (armazenamento) de suco de manga probiótico foi relatado em estudo sobre a viabilidade tecnológica e comercial do suco de manga, onde os custos de processamento e armazenamento foram estimados em 20% e 5% respectivamente o valor total da matéria-prima (DHILLON *et al.*, 2021).

Outros processos já utilizados para estabilizar bebidas e que podem melhorar a qualidade do mel de cacau incluem pasteurização rápida em temperaturas altas (ISHARA; GUNASENA, 2021), pasteurização combinada com radiação UV-C e calor leve (GOUMA *et al.*, 2020), campos elétricos pulsados (YILDIZ *et al.*, 2019) e aquecimento termo-elétrico (ABEDELMAKSOUND *et al.*, 2018).

A produção de suco de mel de cacau foi descrita após a remoção parcial da mucilagem de cacau, homogeneização, adição de ingredientes e pasteurização moderada a 77 °C por 1 min. Em sequência, foram adicionados aditivos conservadores de sorbato e benzoato, seguidos de embalagens de polietileno e resfriamento rápido a 10 °C por 8 min (ORTIZ; JAMES, 2005). Quimbira *et al.* (2013) propuseram estabilização térmica do mel de cacau para produção de néctar utilizando processos de pasteurização com condições operacionais semelhantes (77 ou 85 °C por 1 min e 88 °C por 15 s). Nesse processo, a estabilização química com metabissulfito de sódio e ácido ascórbico foi utilizada para evitar escurecimento enzimático.

Entre os processos de conservação química, a adição de metabissulfito, como anteriormente descrito, tem sido amplamente utilizada para inibir reações enzimáticas e não enzimáticas de escurecimento, suprimindo efetivamente o crescimento microbiano na indústria vinícola (AHMADI *et al.*, 2018). Embora algumas preocupações sobre a toxicidade de sulfetos (HAN *et al.*, 2020), resultados

experimentais bem-sucedidos foram relatados usando metabissulfito de potássio para preparar geleia de mel de cacau. Processos alternativos, como micro-ondas e radiação gama, são opções para minimizar os efeitos negativos que alguns processos convencionais de conservação do conteúdo de antioxidantes como ácido ascórbico e vitamina C no mel de cacau (FIROUZI *et al.*, 2021).

A secagem por atomização foi relatada como uma boa opção para evitar a degradação do mel de cacau, mantendo o conteúdo de compostos fenólicos. No processo experimental, o mel de cacau foi misturado com 11% de maltodextrina e o pó obtido reteve 51% de vitamina C e 66,2% da capacidade antioxidante (HUERTA, 2019).

Em Gana, a polpa de cacau tem sido usada desde a década de 1990 para produzir bebidas alcoólicas e cepas evoluídas adaptadas a altas temperaturas para fermentação industrial da polpa de cacau foram desenvolvidas (GARCÍA-RIOS *et al.*, 2021). A polpa de cacau congelada pasteurizada foi recentemente endossada pela Autoridade Europeia de Segurança Alimentar (EFSA) em relação à segurança alimentar, visando a sua comercialização na Comunidade Europeia (CE) (EFSA, 2019). Esta pode ser uma forma de disseminar e aumentar a comercialização do suco de mel de cacau, uma vez que possui propriedades físico-químicas e conteúdo de macro e micronutrientes semelhantes aos da polpa de cacau.

3.7 Potencial tecnológico do mel de cacau na indústria alimentícia

No mercado de cacau, as bebidas com cacau apresentam a maior tendência ao aumento do consumo, especialmente lideradas por grupos de consumidores com crescente afinidade com o hábito frequente de lanches e consumo de bebidas (ALLIED MARKET RESEARCH, 2019). Entre esses consumidores, há grupos com preferências alimentares específicas, exigindo novos sabores que devem ter boa aceitação do sabor único do mel de cacau. Da mesma forma, há uma tendência crescente de consumo de frutas e produtos derivados de frutas com propriedades funcionais. As chamadas superfrutas, que incluem cacau, são um bom exemplo e compreendem várias outras frutas como o açaí da América do Sul, goji berry (*Lycium barbarum*) da China, durião (*Durio zibethinus*) do Sudeste Asiático e moringa (*Moringa oleifera*) do noroeste da Índia (TACER-CABA, 2019). O

mercado de superfrutas é sustentado pela busca por saúde e nutrição, que muitas vezes está relacionada às propriedades antioxidantes e a fitoquímicos bioativos encontrados nessas frutas (CHANG; ALASALVAR; SHAHIDI, 2019). Uma visão geral do segmento global de purê de frutas tropicais estima um mercado de USD 5 bilhões até o final de 2027 (REPORT LINKER, 2020). A Organização das Nações Unidas para Alimentação (FAO) estimou expansão de 9,6% no mercado de grandes sucos tropicais em 2020 (FAO, 2019).

Como mencionado anteriormente, o mel de cacau é rico em glicose ($4,58 \pm 0,12\%$ c/v) e frutose ($3,25 \pm 0,03\%$ w/v) (LEITE *et al.*, 2019). Este último é um carboidrato com metabolismo independente da insulina e absorção lenta (índice glicêmico 20), com menor efeito sobre a glicemia do que a glicose (índice glicêmico 100) (RITZ *et al.*, 2019). O açúcar desempenha um importante papel tecnológico na produção de alimentos e bebidas, atuando no aprimoramento e equilíbrio de sabores, formação de cores, volume e textura, promovendo a fermentação e garantindo a preservação contra a decomposição, sendo também uma fonte de energia para o corpo humano (GOLDFEIN; SLAVIN, 2015). Porém, o alto teor de carboidratos precisa ser considerado. O consumo de alimentos ricos em sacarose, como o xarope de milho, está aumentando, principalmente nos países ocidentais. A absorção de sacarose tem sido associada ao aumento de doenças metabólicas não comunicáveis, como obesidade, diabetes tipo 2, doença hepática gordurosa não alcoólica (HERMAN; SAMUEL, 2016) e problemas do sistema imunológico (JONES *et al.*, 2021). Desta forma, o alto consumo de mel de cacau não é aconselhável, embora sua doçura possa ser explorada nos preparos alimentares como substituto da cana-de-açúcar, do xarope de milho e do açúcar refinado.

Os adoçantes estão entre os ingredientes primitivos na indústria de confeitaria, embora exista tendência atual de aceitação de produtos sem açúcar ou baixo teor de açúcar (MISEVIC; VOLAREVIC; PERIC, 2020). Em uma perspectiva relacionada, a multinacional suíça *Food and Beverages Company* Nestlé desenvolveu um produto chamado açúcar de cacau utilizando polpa de cacau descartada. Esta polpa contém compostos como monossacarídeos (frutose, fucose, galactose, glicose, ramnose), dissacarídeos (lactose, maltose, sacarose) e oligossacarídeos. "*Sugar cacau*" não contém açúcar refinado e destina-se à utilização em alimentos e bebidas, preferencialmente na confeitaria de chocolate

com uma abordagem natural, proporcionando doçura sem comprometer sabor, textura e qualidade (VIEIRA; KUSCHEL; FESTRING, 2020).

A alta viscosidade do mel de cacau está associada à presença de pectina, que pode chegar a $1,5 \text{ g}/100 \text{ g}^{-1}$ (VÁSQUEZ *et al.*, 2019). Pectina é um polissacarídeo de parede celular que possui propriedades versáteis de gelificação e a capacidade de se ligar a vários componentes industriais naturais importantes, como celulose, amido, quitosana e proteínas (GAWKOWSKA; CYBULSKA; ZDUNEK, 2018). Esta propriedade torna a pectina adequada como agente de gelificação para produtos à base de frutas, como gelados, bebidas de frutas, confeitaria e recheios de padaria, como relatado para algumas frutas tropicais como umbú e cajá (SANTOS *et al.*, 2021).

A pectina utilizada em muitos setores da indústria é principalmente recuperada de resíduos agroindustriais. Produtos à base de pectina de alto valor foram desenvolvidos, ou seja, polímeros e filmes comestíveis de embalagem de casca cítrica (JRIDI *et al.*, 2020; MELLINAS *et al.*, 2020) e compostos bioativos encapsulados (ISHWARYA; SANDHYA; NISHA, 2021). Devido à sua importância na indústria, vários novos processos de extração foram descritos visando novas aplicações para pectina (YU *et al.*, 2021). Também foram estudadas a extração e características da pectina das conchas de cacau visando seu uso industrial (MOLLEA; CHIAMPO, 2019).

O sabor característico do mel de cacau justifica seu uso e aplicação na indústria alimentícia. O mel de cacau fresco (extraído até 24 h após a colheita da fruta) contém pectina, açúcar e ácidos em níveis adequados para a produção de geleias (SANTOS *et al.*, 2014). Produtos como bebidas alcoólicas, xaropes, geleias e licores feitos com mel de cacau têm sido produzidos por comunidades extrativistas, cooperativas e produtores de alimentos artesanais. Algumas delas incluem bebidas à base de *kefir* (PUERARI; MAGALHÃES; SCHWAN, 2012), açaí misto e geleia de mel de cacau (Melo Neto *et al.*, 2013) e geleia sem açúcar (SANTOS *et al.*, 2014).

Como fruta, o mel de cacau tem fitoquímicos com capacidade antioxidante, como flavonoides ($7,19 \text{ } \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) (SILVA *et al.*, 2014). O teor de compostos fenólicos é descrito como $101,50 \pm 0,03 \text{ mg}$ de ácido gálico equivalente. 100 g^{-1} em mel de cacau (SILVA *et al.*, 2014), que é comparável ao valor descrito para a polpa de cacau ($103,76 \pm 4,79 \text{ mg}$ equivalente ao ácido gálico. 100 g^{-1}).

1) (ENDRAIYANI; LUDESCHER; KARWE, 2016). O mel de cacau também é capaz de reduzir os radicais de 1,1-difenil-2-picrilhidrazyla (DPPH). O mel de cacau da variedade Nacional x Trinitário foi ativo em ensaios antioxidantes, ácido 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzotiazolina)-6-sulfônico (ABTS) (inibição radicalar), redução férrica de poder antioxidante (FRAP) e capacidade de absorção radical de oxigênio (ORAC) (8,54, 7,89, 1,33 μM Trolox Equivalente mL^{-1} , respectivamente) (RODRÍGUEZ; JOEL, 2020). Ácidos orgânicos foram relatados na constituição do mel cacau, principalmente ácidos ascórbico, cítrico e málico ($18,3 \pm 7,5$; $9,1 \pm 0,6$ e $3,6 \pm 0,5$ mg mL^{-1} , respectivamente) (VÁSQUEZ *et al.*, 2019).

Alguns relatos informais têm mostrado o uso de mel de cacau na produção de sorvetes, geleias mistas, vinhos e vinagres, e o uso de pectina em geleias com menos açúcar. O uso de mel de cacau em alimentos foi alvo de algumas patentes (SANTOS; KALID, 2020; SCAMPINI, 2020), listadas na Tabela 3. Algumas patentes relacionadas com a polpa de cacau também são apresentadas, incluindo a avaliação do suco de polpa de cacau alimentado na confeitaria no Japão (MIZUMURA; KITAJIMA, 2020), bem como substâncias adoçantes da polpa de cacau para produção de chocolate na Alemanha (KRÄHENMANN; WINDHAB, 2020).

Tabela 3 - Patentes de mel de cacau e polpa de cacau

Patente número	Instituição depositante	Escopa da patente	Fonte
BR 102013 005053-9 B1	Universidade de São Paulo (USP, São Paulo, Brasil) e Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB, Bahia, Brasil)	Composições alimentares de chocolate e sorvete comestível contendo mel de cacau	LANNES <i>et al.</i> , 2013
BR 102015 013975-6 A2	Universidade Federal Recôncavo da Bahia (UFRB, Bahia, Brasil)	Bebida carbonada funcional	SANTOS <i>et al.</i> , 2015
BR 102016 025928-2 A2	Universidade Federal de São João Del Rey (UFSJ, Minas Gerais, Brasil)	Bebida à base de polpa de cacau <i>in natura</i> com adição de probióticos	MAGALHÃES <i>et al.</i> , 2016
BR	Depósito privado	Processo de produção de	SCAMPINI, 2020

102018016061-3 A2	(Brasil)	bebidas alcoólicas(aguardente) através da preparação, fermentação e destilação do mel de cacau	
BR 102019008474-0 A2	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, Bahia, Brasil) e Universidade Federal da Bahia (UFBA, Bahia, Brasil)	Bebida obtida a partir do mel de cacau e processo de fabricação da bebida referida	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2019
BR 102019008531-2 A2	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI, Bahia, Brasil) e Universidade Federal da Bahia (UFBA, Bahia, Brasil)	Mel de cacau em pó obtido a partir de mel de cacau concentrado e processos de fabricação de mel de cacau concentrado e mel de cacau em pó	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2019
BR 102019008742-0 A2	Depósito privado (Brasil)	Produção de cerveja artesanal usando mel de cacau como adjunto	RODRIGUES, 2019
BR 102019009487-7 A2	Depósito privado (Brasil)	Essências, perfumes e colônias naturais obtidas a partir da endocarpa da fruta, polpa ou mel de cacau	ESKES, 2019.
DE3112994 A1	Carle e Montanari SpA (Itália)	Processo e aparelho para pasteurização-esterilização, desacidificação e alcalização do suco de cacau	BONORA; CHIAPPA, 1980
EP 3 520 621 A1	Société des Produits Nestlé S.A. (Suíça)	Produtos de chocolate, ingredientes, processos e usos	FESTRING.; KUSCHEL; VIEIRA, 2018
EP 3 777 550 A1	Depósito privado (Alemanha)	Método para obtenção de uma substância contendo açúcar de cacau e uso da substância que contém açúcar na produção de chocolate	HOPPE; BACHMEIR; ARETZ , 2019.
FR 2 849 374 B1	Depósito privado	Composição cosmética e/ou	DERHY, 2002

	(França)	dermatológica à base de polpa de cacau	
JP 2021 506225 A	Société des Produits Nestlé S.A. (Japão)	Produtos alimentícios, ingredientes, processos e usos	VIERA; CUCELLE; FESTRING, 2017
OA 10776 A	Associação Marfinense de Ciências Agronômicas (AISA) Centro Marfinense de Pesquisa Tecnológica(CIRT) (Costa do Marfim)	Fabricação de suco estabilizado clarificou vinho vinagre a partir de geleia de xarope e geleia de suco de cacau fazendo classificações de licor de cacau	KOFFI <i>et al.</i> , 1993
PE 62018 Z	Depósito privado (Peru)	Hélice de liquidificador para remover mucilagem de cacau e outras frutas	GAVILAN, GAVILAN; GAVILAN, 2016
US4331692A	Depósito privado (EUA)	Frutas e produtos de cacau	DREVICI; DREVICI, 1979
WO 2017/044610 A1	Depósito privado (EUA)	Método de produção e uso de xarope derivado da polpa de frutas da vagem de cacau	TOTH <i>et al.</i> , 2016
WO 2017/062603 A1	Wm. Wrigley Jr. Company (EUA)	Prateleira estável, produtos de confeitaria de frutas de alta umidade da polpa de cacau	WILLCOCKS; UNLU; GAO, 2016
WO 2019/149292 A1	Reishi Colombia S.A.S. (Colômbia)	Alimentos funcionais e processo de produção	ECHEVERRI <i>et al.</i> , 2018
WO 2020/115248 A1	Cabosse Naturals Nv (Bélgica)	Pó derivado da polpa de cacau, método para obtenção do mesmo e suas aplicações	BERNAERT; GREINER, (2019)
WO 2020/158927 A1	Meiji Co., Ltd (Japão)	Suco de polpa de cacau em pó seco, alimentos contendo o pó, e métodos para produzir o mesmo	MIZUMURA; KITAJIMA, (2020)
WO 2021/026089 A2	Mars, Incorporated (EUA)	Spray de polpa de cacau seco	CASTRO <i>et al.</i> , 2020

Além do sabor requintado, o *marketing* sobre o mel de cacau pode adicionar um ganho extra de 0,6 dólares por quilo de amêndoa. Além das possibilidades de uso de mel de cacau fora da indústria do chocolate, seu emprego no desenvolvimento de novos produtos de cacau/chocolate é estratégico.

3.8 O futuro do mel de cacau

O mel de cacau tem sido cada vez mais utilizado nas últimas décadas, embora com limitações devido à escassez de estudos sobre conservação e melhoria tecnológica de suas características físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas, dificultando assim sua exploração e comercialização (SILVA *et al.*, 2014). Como a indústria moderna do cacau precisa urgentemente de minimizar os resíduos agroindustriais e agregar valor aos subprodutos visando a sustentabilidade do processamento de alimentos, ela certamente se beneficiará com a incorporação do mel de cacau em produtos inovadores, como bebidas à base de cacau e chocolates *premium*. Mel de cacau engarrafado congelado já está sendo produzido, e sua adição em alimentos e bebidas inovadoras é esperada (SANTOS; KALID, 2020). Em uma análise preliminar, a utilização do mel de cacau parece ser economicamente viável. Estima-se que uma fazenda com produtividade média de 300 kg de amêndoa seca por ha gera 0,59 kg de mel de cacau por kg de amêndoa seca (KONGOR *et al.*, 2018; PISCO-CALDAS, 2019). Portanto, em uma área cultivada de 100 ha, a extração média do mel de cacau chegará a 17.700 kg por safra. Utilizando a metodologia de Tesfaye *et al.* (2021) para calcular a viabilidade econômica, e estimando o custo unitário de US\$ 1,96 por kg, com 150% de lucro, pode-se chegar a um ponto de equilíbrio com 590 kg. Portanto, a rentabilidade mensal para a venda de mel pasteurizado e congelado de cacau pode chegar a US\$ 1.947,00, com recuperação do investimento inicial em até cinco anos. A valorização de resíduos e subprodutos com características organolépticas, nutricionais e funcionais importantes para a saúde humana, como o mel de cacau, requer a modernização dos sistemas de produção, que é de fundamental importância para a bioeconomia dos países onde o cacau está entre as commodities mais importantes produzidas. O crescimento do mercado de cacau certamente se adaptará à preferência dos consumidores por produtos com selos de sustentabilidade. Iniciativas para aumentar

a sustentabilidade da produção de cacau também incluem o uso da casca de cacau. Essas cascas são o principal produto do processamento de cacau (até 75% de peso de frutas integrais) e têm sido estudadas para a produção de biocombustíveis, aplicação na indústria alimentícia (LU *et al.*, 2018) e para substituir a madeira de pinheiro em materiais destinados à indústria moveleira (VELOSO *et al.*, 2020). Compostos bioativos com potencial nutricional presente em resíduos de cacau não comestíveis também foram descritos (BALENTIĆ *et al.*, 2018; CÁDIZ-GURREA *et al.*, 2020; ELETTA *et al.*, 2020; HAMADI *et al.*, 2020; ROJO-POVEDA *et al.*, 2020; VASQUEZ *et al.*, 2019).

Uma análise de Pontos Fortes, Fraquezas, Oportunidades e Ameaças (SWOT) de quinze mercados promissores de chocolate publicados por Misevic *et al.* (2020) mostrou particularidades nas demandas de alguns países que podem inspirar a indústria do cacau a incorporar mel de cacau em produtos inovadores.

O agroturismo está entre as iniciativas que podem auxiliar na disseminação de produtos agrícolas com novos sabores e produtos étnicos e de nicho únicos (PÉRÉZ GÁLVES *et al.*, 2020), uma abordagem experimentada por países produtores de cacau como Gana (BANTACUT; RAHARJA, 2018; ESHUN; TICHAAWA, 2020). Em algumas fazendas brasileiras, os turistas podem participar da colheita de cacau e provar suco de cacau fresco à medida que escorre da fruta. A produção de chocolate com apelo regional foi proposta como estratégia de integração entre a cadeia do cacau e o turismo na região amazônica. Enquanto isso, o mel de cacau também ganhou a mídia e os consumidores nos países produtores, e há várias receitas *gourmet* disponíveis *online*.

4 CONCLUSÃO

Mudanças nos hábitos alimentares impulsionadas por diversos fatores, como a busca por saúde e a preocupação com a sustentabilidade, proporcionaram oportunidades para a indústria do cacau crescer fora das aplicações convencionais, como *nibs* de cacau, barras de chocolate e produtos de confeitaria. Além disso, o aumento do poder aquisitivo dos consumidores e consequente expectativa por novos produtos compõem um cenário estratégico para o mel de cacau, que apresenta apelo regional, benefícios nutricionais e atributos sensoriais únicos. A

disseminação do mel de cacau em feiras regionais, a degustação em visitas às fazendas de cacau e sua incorporação em receitas caseiras e *gourmet* são formas emergentes de introduzir o mel de cacau como suco exótico natural nos mercados nacional e internacional.

Além disso, o caminho para a sustentabilidade rural que atende aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas requer um novo olhar sobre resíduos e subprodutos. Novas tecnologias e técnicas de conservação adequadas destinadas a prolongar a vida útil, reduzir a contaminação e prevenir a degradação de compostos nutricionais são essenciais para a incorporação do mel de cacau na cadeia produtiva.

Os exemplos discutidos nesta revisão relatam o potencial tecnológico do mel de cacau para a indústria alimentícia e as perspectivas de desenvolvimento de tecnologias modernas para uso, conservação, adição de valor e desenvolvimento de novos produtos funcionais e nutracêuticos a partir deste importante subproduto da indústria do cacau. Novas pesquisas na área também devem ampliar o horizonte, apresentando possibilidades de empregar mel de cacau na indústria farmacêutica e cosmética, tornando a produção de cacau mais sustentável à medida que o mel de cacau passa de resíduo/subproduto para matéria-prima.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEDELMAKSOU, T. G.; MOHSEN, S. M.; DUEDAHL-OLESEN, L.; ELNIKEETY, M. M.; FEYISSA, A. H. Optimization of ohmic heating parameters for polyphenoloxidase inactivation in not-from-concentrate elstar apple juice using RSM. **Journal of Food Science and Technology**, v. 55, n. 7, p. 2420-2428, 2018.

ABBALLE, C.; GOMES, F. M.; LEME.; LOPES, B. D.; OLIVEIRA, A. P. F.; BERTO, M. I.; EFRAIM, P.; TFOUNI, S. V. Cocoa beans and derived products: Effect of processing on polycyclic aromatic hydrocarbons levels. **LWT - Food Science and Technology**, v. 135, article 110019, 2021.

ABOUD, A.; SAHINLI, M. A. Swot and tows analysis: an application to cocoa in Ghana. **Scientific Papers: Management, Economic Engineering in Agriculture & Rural Development**, v. 19, p.13-24, 2019.

AHMADI, F.; LEE, Y. H.; LEE, W. H.; OH, Y. K.; PARK, K. K.; KWAK, W. S. Preservation of fruit and vegetable discards with sodium metabisulfite. **Journal of environmental management**, v. 224, p. 113-121, 2018.

ALLIED MARKET RESEARCH. **Cocoa Products Market by Product Type (Cocoa Beans, Cocoa Butter, Cocoa Powder & Cake, Cocoa Paste & Liquor, and Chocolate) and Application (Confectionery, Food & Beverages, Cosmetics & Pharmaceutical): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2019–2026**. Disponível em: <https://www.alliedmarketresearch.com/cocoa-products-market>. Acesso em: 20 out. 2019.

ALMEIDA, O. G. G.; PINTO, U. M.; MATOS, C. B.; FRAZILIO, D. A.; BRAGA, V. F.; VON ZESKA-KRESS, M. R.; DE MARTINIS, E. C. P. Does Quorum Sensing play a role in microbial shifts along spontaneous fermentation of cocoa beans? *An in silico* perspective. **Food Research International**, v. 131, p.109034, 2020.

ANVOH, K. Y. B.; ZORO BI, A.; GNAKRI, D. Production and Characterization of Juice from Mucilage of Cocoa Beans and its Transformation into Marmalade. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 129-133, 2009.

ATUONWU, J. C.; LEADLEY, C.; BOSMAN, A.; TASSOU, S. A. High-pressure processing, microwave, ohmic, and conventional thermal pasteurization: Quality aspects and energy economics. **Journal of Food Process Engineering**, v. 43, n. 2, e13328, 2020.

BALLADARES, C.; CHÓEZ GUARANDA, I.; GARCÍA, J.; SOSA, D.; PÉREZ, S.; GONZÁLEZ, J. E.; VITERI, R.; BARRAGÁN, A.; QUIJANO AVILÉS, M.; MANZANO, P. Physicochemical characterization of *Theobroma cacao* L. mucilage, in Ecuadorian coast. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 741-745, 2016.

BALENTIĆ, J.; AČKAR, D.; JOKIĆ, S.; JOZINOVIĆ, A.; BABIĆ, J.; MILIČEVIĆ, B.; ŠUBARIĆ, D.; PAVLOVIĆ, N. Cocoa shell: A by-product with great potential for wide application. **Molecules**, v. 23, n. 6, article 1404, 2018.

BANTACUT, T.; RAHARJA, S. Determination of the prospective processed cacao product and calculation of the added value in agro-tourism based on cacao agroindustry in pidie jaya regency. **Acta Universitatis Cibiniensis**, v. 22, n. 1, 2018.

BERNAERT, H.; GREINER, M. **Cacao pulp derived powder, method for obtaining thereof and its applications**. Cabosse Naturals Nv. Belgium, Depósito: 5 dez. 2018. Concessão: 05 dez. 2019. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/WO2020115248A1/en?q=WO+2020%2f115248+A>. Acesso em: 21 mai. 2020.

BLARE, T.; CORRALES, I.; ZAMBRINO, L. Can Niche Markets for Local Cacao Varieties Benefit Smallholders in Peru and Mexico? **Choices**, v. 35, n. 316, p. 141, 2021.

BONORA, B.; CHIAPPA, O. **Process and apparatus for pasteurisation-sterilisation, deacidification and alkalisation of cocoa juice**. Carle and Montanari SpA, Italy. Depósito: 28 nov. 1980. Concessão: 28 mai. 1986. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/DE3112994A1/en?q=DE3112994A1>. Acesso em 21 mai. 2020.

CÁDIZ-GURREA, M. L. L.; FERNÁNDEZ-OCHOA, A.; LEYVA-JIMÉNEZ, F. J.; GUERRERO-MUÑOZ, N.; VILLEGAS-AGUILAR, M. C.; PIMENTEL-MORAL, S.; RAMOS-ESCUADERO, F.; SEGURA-CARRETERO, A. LC-MS and spectrophotometric approaches for evaluation of bioactive compounds from Peru cocoa by-products for commercial applications. **Molecules**, v. 25, article 3177, 2020.

CAO, H.; SAROGLU, O.; KARADAG, A.; DIACONEASA, Z.; ZOCCATELLI, G.; CONTE-JUNIOR, C. A.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; BAI, W.; ZAMARIOLI, C. M.; FREITAS, L. A. P.; SHPIGELMAN, A.; CAMPELO, P. H.; CAPANOGLU, E.; HUI, C. L.; JAFARI, S. M.; QI, Y.; LIAO, P.; WANG, M.; ZOU, L.; BOURKE, P.; SIMAL-GANDARA, J.; XIAO, J. Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. *Food Frontiers*, 2021.

CARR, A. C.; LYKKESFELDT, J. Discrepancies in global vitamin C recommendations: a review of RDA criteria and underlying health perspectives. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 1, n. 14, 2020.

CASTRO, A. J.; GLAZIER, B. D.; BEN-YOSEPH, E. M.; HSU, C. H.; KELLEYS, S.; UNLU, E.; WILLCOCKS, N. A.; COLLINS, T. M. **Spray dried cacao pulp**. Mars, Incorporated USA. Depósito: 2 ago. 2019. Concessão: 3 ago. 2020. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/WO2021026089A2/en?q=WO+2021%2f026089+A2>. Acesso em: 22 mai. 2020.

CBI - CENTRE FOR THE PROMOTION OF IMPORTS FROM DEVELOPING COUNTRIES. **The bittersweet impact of COVID-19 on the cocoa and chocolate market**. 2020. Disponível em: <https://www.cbi.eu/news/bittersweet-impact-covid-19-cocoa-chocolate-market>. Acesso em: 20 de out, 2020

CHAGAS JUNIOR, G. C. A.; FERREIRA, N. R.; LOPES, A. S. The microbiota diversity identified during the cocoa fermentation and the benefits of the starter cultures use: an overview. **International Journal of Food Science & Technology**, 2020.

CHANG, S. K.; ALASALVAR, C.; SHAHIDI, F. Superfruits: Phytochemicals, antioxidant efficacies, and health effects—A comprehensive review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 59, p. 1580-1604, 2019.

CONCEIÇÃO; MACEDO, R. D. D.; PIRES, M. M. Specialization and competitiveness: analysis of Brazilian exports of cocoa beans and products. **Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas**, v. 11, n. 6, p. 1207-1219, 2020.

DE BARROS. H. E. A. **Desenvolvimento de produto à base de farelo de cacau (*Theobroma cacao* L): biscoito tipo cookie**. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência de alimentos. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. p.75. 2019.

DE ECHEVERRI, C. J.; RESTREPO GUTIERREZ, S.; ECHEVERRI JARAMILLO A.; RESTREPO GUTIERREZ, S. **Functional food and process for producing same**. Reishi Colombia S.A.S. Colombia. Depósito: 1 fev. 2018. Concessão: 8 ago. 2019. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/WO2019149292A1>.

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

DERHY, Y. **Cosmetic and / or dermatological composition based on cocoa pulp**. France. Depósito: 27 dez. 2002. Concessão: 2 mai. 2008. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/FR2849374B1/en?q=FR+2849374B1>. Acesso em: 22 mai. 2020.

DÍAZ-MUÑOZ, C.; VAN DE VOORDE, D.; COMASIO, A.; VERCE, M.; HERNANDEZ, C. E.; WECKX, S.; DE VUYST, L. Curing of Cocoa Beans: Fine-Scale Monitoring of the Starter Cultures Applied and Metabolomics of the Fermentation and Drying Steps. **Frontiers in microbiology**, v. 11, p. 3446, 2021.

DHILLON, H. S.; GILL, M. S.; KOCHER, G. S.; PANWAR, H.; ARORA, M. Preparation of *Lactobacillus acidophilus* enriched probiotic mango juice. **Journal of Environmental Biology**, v. 42, p. 371-378, 2021.

DJUIDEU, C. T.; BISSELEUA, H. D.; KEKEUNOU, S.; AMBELE, F. C. Rehabilitation practices in cocoa agroforestry systems mitigate outbreaks of termites and support cocoa tree development and yield. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 311, article 107324, 2021.

DREVICI, U.; DREVICI, N. **Cocoa fruits and products**. USA. Depósito: 23 jul. 1971. Concessão: 25 mai. 1982. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/US4331692A/en?q=US4331692A>. Acesso em: 22 mai 2020.

EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Technical Report on the notification of pulp from *Theobroma cacao* L. as a traditional food from a third country pursuant to Article 14 of Regulation (EU) 2015/2283. **EFSA Supporting Publications**, v. 16, p. 1724E, 2019.

ELETTA, O. A. A.; ADENIYI, A. G.; IGHALO, J. O.; ONIFADE, D. V.; AYANDELE, F. O. Valorisation of Cocoa (*Theobroma cacao*) pod husk as precursors for the production of adsorbents for water treatment. **Environmental Technology Reviews**, v. 9, n. 1, p. 20-36, 2020.

ENDRAIYANI, V.; LUDESCHER, R. D.; DI, R.; KARWE, M. V. Total Phenolics and Antioxidant Capacity of Cocoa Pulp: Processing and Storage Study. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 4, e13029, 2016.

ESCOBAR-OSORIO, D. R.; JUÁREZ-PANZO, M.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, B. Y.; ROMERO-CORTES, T.; CUERVO- PARRA, J. A.; TIRADO-GALLEGOS, J. M.; UTRILLA-VAZQUEZ, M.; MORALES-OVANDO, M. A. **Producción de Etanol a Partir de Jugo de Mucílago de Cacao (*Theobroma Cacao*) Como Subproducto de la Fermentación**. VI Encuentro Internacional sobre Biotecnología en la UAT. Tlaxcala, México, 2019.

ESHUN, G.; TICHAAWA, T. M. EuroEconomica Developing Agro-Tourism Tours on the Cocoa Sector in Africa: Emerging Issues from Ghana. **EuroEconomica**. v. 39, n. 1, 2020.

ESKES, A. **Essences, perfumes and natural colonies obtained from the endocarp of the fruit, pulp or cocoa honey**. Brazil. Depósito: 9 mai. 2019. Concessão: 17 nov. 2020. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102019009487A2/>. Acesso em: 23 mai. 2020.

EUROMONITOR. **Global trends and developments in Cocoa ingredients (world)**. 2016. Disponível em: <https://www.euromonitor.com/global-trends-and-developments-in-cocoa-ingredients-world/report>. Acesso em: 20 de outubro 2019.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Ultra-processed foods, diet quality, and health using the nova classification system**. Rome, 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/publications/card/en/c/CA5644EN/>. Acesso em: 8 abr. 2020.

FESTRING; KUSCHEL.; VIEIRA, 2018, D.; KUSCHEL, B.; VIEIRA, J. B. **Chocolate products, ingredients, processes and uses**. Société des Produits Nestlé S.A. Switzerland. Depósito: 2 fev. 2018. Concessão: 1 fev. 2019. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/EP3520621A1/>. Acesso 23 mai. 2020.

FIROUZI, S.; KHORSHIDI, A.; SOLTANI NABIPOUR, J.; BARZI, S. M. Z.; AMANI, M.; AY, M. R. Evaluation of gamma and electron radiations impact on vitamins for onion preservation, **Applied Radiation and Isotopes**. v. 167, article 109442, 2021.

FORNI. C.; FACCHIANO. F; BARTOLI. M.; PIERETTI. P.; FACCHIANO. A.; D'ARCANGELO. D.; NORELLI. S.; VALLE. G.; NISINI.; BENINATI. S.; TABOLACCI. C.; JADEJA. R.N. Beneficial Role of Phytochemicals on Oxidative Stress and Age-Related Diseases. **BioMed Research International**. v. 2019. p.16. 2019.

GAWKOWSKA, D.; CYBULSKA, J.; ZDUNEK, A. Structure-Related gelling of pectins and linking with other natural compounds: A review. **Polymers**, v. 10, n. 7, article 762, 2018.

GARCÍA, S. V.; MORETA, F. A. Optimización y aprovechamiento del residuo (exudado del mucílago) de la almendra fresca del cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 en la elaboración de vinagre. **Tsafiqui-Revista Científica en Ciencias Sociales**, v. 4, p. 7-19, 2013.

GARCÍA-RÍOS, E.; LAIRÓN PERIS, M.; MUÑIZ CALVO, S.; HERAS, J. M.; ORTIZ-JULIEN, A.; POIROT, P.; ROZÉS, N.; QUEROL, A.; GUILLAMÓN, J. M. Thermo-adaptive evolution to generate improved *Saccharomyces cerevisiae* strains for cocoa pulp fermentations. **International Journal of Food Microbiology**, v. 342, article 109077, 2021.

GAVILAN, M. R.; GAVILAN, C. R. R.; GAVILAN, C. K. R. **Helice de licuadora para sacar la baba o mucilago de cacao y otras frutas**. Peru. 2016.

GINATTA, G.; VIGNATI, F.; DEL CARMEN RODRÍGUEZ, M. **Iniciativa Latinoamericana del Cacao**: Boletín No. 9, Caracas: CAF, 2020. Disponível em: <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/1593>. Acesso em: 20 jan, 2021.

GOLDFEIN, K. R.; SLAVIN, J. L. Why sugar is added to food: food science 101. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, n. 5, p. 644-656, 2015. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/1541-4337.12151>.

GOMES, D. C.; TAKAHASHI, J. A. Sequential fungal fermentation-biotransformation process to produce a red pigment from sclerotiorin. **Food chemistry**, v. 210, p. 355-361, 2016.

GONZÁLEZ, C.; JAIMES, M. **Desarrollo experimental del proceso para la obtención de jugo derivado del mucílago de cacao**. Tesis de grado, Universidad industrial de Santander. Bucaramanga-Colombia, 2005.

GOUMA, M.; ÁLVAREZ, I.; CONDÓN, S.; GAYÁN, E. Pasteurization of carrot juice by combining UV-C and mild heat: Impact on shelf-life and quality compared to conventional thermal treatment. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 64, article 102362, 2020.

GRANATO, D.; NUNES, D. S.; BARBA, F. J. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 13-22, 2017.

GUIRLANDA, C. P.; DA SILVA, G. G.; TAKAHASHI, J. A. Caracterização, atributos e potencial de mercado do mel de cacau. *Research, Society and Development*, v. 10, n 4, e41410413994-e41410413994, 2021.

GYEDU, E.; H. OPPONG. **Cocoa pulp juice (Sweatings) and its potential for soft drink, jam and marmalade production**. International Workshop on Cocoa By-Products Ghana. Accra, 2003.

HAMADI, A.; YEDDOU-MEZENNER, N.; LOUNIS, A.; ALI, R. M.; HAMAD, H. Upgrading of agro-industrial green biomass residues from chocolate industry for adsorption process: diffusion and mechanistic insights. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 3, p. 1081-1092, 2020.

HAN, X.; ZHU, F.; CHEN, L.; WU, H.; WANG, T.; CHEN, K. Mechanism analysis of toxicity of sodium sulfite to human hepatocytes L02. **Molecular and Cellular Biochemistry**, v. 473, p. 25-37, 2020.

HENDERSON, J. S.; JOYCE, R. A.; HALL, G. R.; HURST, W. J.; MCGOVERN, P. E. Chemical and archaeological evidence for the earliest cacao beverages. **Proceedings of The National Academy of Sciences**, v. 104, n. 48, p. 18937-18940, 2007.

HERMAN, M. A.; SAMUEL, V. T. The sweet path to metabolic demise: fructose and lipid synthesis. **Trends in Endocrinology & Metabolism**, v. 27, p. 719–730, 2016.

HERNÁNDEZ, S. M. P.; JAIMES ESTÉVEZ, J.; LÓPEZ GIRALDO, L. J.; MURILLO MÉNDEZ, C. J. Supercritical extraction of bioactive compounds from cocoa husk: study of the main parameters. **Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia**, n.91, p. 95-105, 2019.

HOPPE, J.; BACHMEIR, J.; ARETZ, J. **Method for obtaining a sugar-containing substance from cocoa fruit and use of the sugar-containing substance in the production of chocolate**. Alfred Ritter & Co KG Gmb. Germany. Depósito: 15 ago. 2019. Concessão: 17 fev. 2021. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/EP3777550A1/>. Acesso em 20 mar. 2021.

HUERTA, I.C.P. **Influencia del secado por atomización de mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el contenido de polifenoles y capacidad antioxidante**. Tesis para optar el título de ingeniero en industrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina Facultad de Industrias Alimentarias, Lima, Perú, 2019.

ICCO - INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. **Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, year 2018/2019**, v. 15, n. 3, 2019. Disponível em: <https://www.icco.org/about-us/icco-news/415-quarterly-bulletin-of-cocoa-statistics-november-2019>. Acesso em: 8 mai, 2020.

ISHARA, A. W. S.; GUNASENA, G. D. D. K. Heat Resistant Moulds in Pasteurized Fruit Syrups. **European Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 3, n. 1,p. 104-111, 2021.

ISHWARYA, S. P.; SANDHYA, R.; NISHA, P. Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 1, n. 25, 2021.

JAMBOR, A.; TOTH, A. T.; KOROSHEGYI, D. The Competitiveness Export of Global Cocoa Traders, **Agris on-line Papers in Economics and Informatics**, v. 9, n. 3,p. 27 – 37, 2017.

JONES, N.; BLAGIH, J.; ZANI, F.; REES, A.; HILL, D. G.; JENKINS, B. J.; BULL, C. J.; MOREIRA, D.; BANTAN, A. M.; CRONIN, J. G.; AVANCINI, D.; JONES, G. W.; FINLAY, D. K.; VOUSDEN, K. H.; VINCENT, E. E.; THORNTON, C. A. Fructose reprogrammes glutamine-dependent oxidative metabolism to support LPS-induced inflammation. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p.1-13, 2021.

JRIDI, M.; ABDELHEDI, O.; SALEM, A.; KECHAOU, H.; NASRI, M.; MENCHARI, Y. Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. **Food Hydrocolloids**, v. 103, p. 105688, 2020.

KOFFI, L. B.; KOUAKOU, K.; BI, Z. I.; KOUASSI, A.; ANGBO, S. F. **Manufacture of stabilized juice clarified vinegar wine from syrup jam and jelly from cocoa juice making cocoa liquor classifications.** Association Ivoirienne des Sciences Agronomique (AISA) and Centre Ivoirien de Recherches Technologiques (CIRT). Ivory Cost. Depósito: 24 jun. 1993. Concessão: 23 dez. 2002. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/OA10776A/en?q=OA+10776+A>. Acesso em: 20 de abr. 2020.

KOISSY, Y. V. A.; N'ZUÉ, F. F. Climate Change and Cocoa Production in Côte d'Ivoire: Should we Worry? **Journal of Economics and Business**, v. 3, n. 2, p. 965-979, 2020.

KONGOR, J. E.; DE STEUR, H.; VAN DE WALLE, D.; GELLYNCK, X.; AFOAKWA, E. O.; BOECKX, P.; DEWETTINCK, K. Constraints for future cocoa production in Ghana. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 5, p. 1373-1385, 2018.

KRÄHENMANN, U.; WINDHAB, E. **Product containing cocoa and one or more sweetening agents, method for the production of such products, in particular chocolate products or chocolate-like products, use of products of said type, for example to make chocolate products or chocolate like products.** Germany. Depósito: 24 jun. 2019. Concessão: 24 dez. 2020. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/DE102019004355A1/en>. Acesso em: 1 mar. 2021.

LANNES, S. C. D. S.; DA SILVA, M. V.; DA SILVA, E. N.; RAMOS, D. D. C.; SU, F. **Food compositions of chocolate and edible ice cream containing "cocoa honey"**. University of São Paulo (USP, Sao Paulo, Brazil) and State University of Southwest Bahia (UESB, Bahia, Brazil). Depósito: 1 mar. 2013. Concessão: 25 nov. 2014. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102013005053B1>. Acesso em: 30 mar. 2019.

LEITE, P. B.; MACHADO, W. M.; GUIMARÃES, A. G.; CARVALHO, G. B. M. D. MAGALHÃES-GUEDES, K. T.; DRUZIAN, J. I. Cocoa's residual honey: physicochemical characterization and potential as a fermentative substrate by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI726. **The Scientific World Journal**, 2019.

LIM, S.; BENNER, L. C.; CLARK, S. Neither thermosonication nor cold sonication is better than pasteurization for milk shelf life. **Journal of Dairy Science**, v. 102, n. 5, p. 3965-3977, 2019.

LU, F.; RODRIGUEZ-GARCIA, J.; VAN DAMME, I.; WESTWOOD, N. J.; SHAW, L.; ROBINSON, J. S.; WARREN, G.; CHATZIFRAGKOU, A.; MASON, S. M.; GOMEZ, L. Valorisation strategies for cocoa pod husk and its fractions. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 14, p. 80-88, 2018.

LUZURIAGA, D. **"Extracción y aprovechamiento del mucílago de cacao (*theobroma cacao*) como materia prima en la elaboración de vino.** Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito-Ecuador. Thesis de grado. 2012. Disponível em: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4930/1/47745_1.pdf. Acesso em: 20 de agosto de 2020.

MAGALHÃES, J. T.; VALADARES, H. M. S.; GONÇALVES, D. B.; GRANJEIRO, P. A.; GUIMARÃES, G. M.; MOREIRA, M. T.; SOARES, L. A. **In natura cocoa pulp-based drink with probiotic addition**. Federal University of São João Del Rey (UFSJ, Minas Gerais, Brazil). Depósito: 7 nov. 2016. Concessão: 29 mai. 2018. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102016025928A2/>. Acesso em: 30 mar. 2019.

MANGANARIS, G. A.; GOULAS, V.; MELLIDOU, I.; DROGOUDI, P. Antioxidant phytochemicals in fresh produce: exploitation of genotype variation and advancements in analytical protocols. **Frontiers in Chemistry**, v. 5, p. 95, 2018.

MARTINS, Q. S. A.; DE BARROS, H. E. A.; DA CUNHA, S. L.; GUALBERTO, S. A.; DA SILVA, M. V. Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 591-608, 2019.

MELLINAS, C.; RAMOS, M.; JIMÉNEZ, A.; GARRIGÓS, M. C. Recent trends in the use of pectin from agro-waste residues as a natural-based biopolymer for food packaging applications. **Materials**, v. 13, n. 3, article 673, 2020.

MELO NETO, B. A.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. C. I.; FERREIRA, A. C. R.; GONÇALVES, G. R. F.; MELLO, D. L. N. Physical chemical characterization and thermophysical properties of cocoa honey. **Revista Gestão Inovação e Tecnologias**, v. 6, n. 1, p. 2944-2953, 2016.

MELO NETO, B. A.; CARVALHO, E. A.; PONTES, K. V.; BARRETTO, W. S.; SACRAMENTO, C. K. Chemical, physico-chemical and sensory characterization of mixed açai (*Euterpe oleracea*) and cocoa's honey (*Theobroma cacao*) jellies. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 2, p. 587-593, 2013.

MISEVIC, P.; VOLAREVIC, H.; PERIC, M. The trend analysis of less sugar chocolate confectionery markets. **In Economic and Social Development (Book of Proceedings), 52nd International Scientific Conference on Economic and Social Development**, p. 654, 2020. Disponível em <https://www.bib.irb.hr/1059465?rad=1059465>. Acesso em: 30 mai 2021.

MIZUMURA, S.; KITAJIMA, M. **Cacao pulp juice dried powder, foods blended with the powder, and methods for producing them**. Japan. Depósito: 1 fev. 2019. Concessão: 20 ago. 2020. Disponível em: 2020. <https://patents.google.com/patent/JP2020124123A/en>. Acesso em: 30 mar. 2021.

MODA, L. R.; BOTEON, M.; RIBEIRO, R. G. Cocoa and chocolate market economic scenario: opportunities for the Brazilian cocoa culture. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 10, p. 21203-21225, 2019.

MOLLEA, C.; CHIAMPO, F. Valorization of Cocoa Husks: Pectin Recovery. **International Journal of Food Science**, article 1212081, 2019.

MORDOR INTELLIGENCE. **Premium chocolate market - growth, trends and forecast (2020 – 2025)**. 2019. Disponível em: <https://mordorintelligence.com/industry-reports/premium-chocolate-market>. Acesso em: 8 de mai. 2020.

OLIVEIRA, R. S.; MACHADO, B. A. S.; LEAL, I. L.; SANTOS, V. S.; DA SILVA, E. N.; UMSZA-GUEZ, M. **Powdered cocoa honey obtained from concentrated cocoa honey and manufacturing processes of concentrated cocoa honey and powdered cocoa honey**. National Industrial Learning Service (SENAI, Bahia, Brazil) & Federal University of Bahia (UFBA, Bahia, Brazil). Depósito: 26 abr. 2019. Concessão: 3 nov. 2020. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102019008531A2/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

OLIVEIRA, R. S.; MACHADO, B. A. S.; SANTOS, V. S.; DA SILVA, E. N.; UMSZA-GUEZ, M. **Drink obtained from cocoa honey and manufacturing process of the referred beverage**. National Industrial Learning Service (SENAI, Bahia, Brazil) & Federal University of Bahia (UFBA, Bahia, Brazil). Depósito: 26 abr. 2019. Concessão: 3 nov. 2020. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102019008474A2/pt?q=BR+102019008474>. Acesso em: 30 mar. 2021.

ORTIZ, C. G.; JAMES, M. R. J. **Desarrollo experimental del proceso para la obtencion de jugo derivado del mucilago de cacao**. Universidad Industrial de Santander Facultad de Ingenierias Fisicoquimicas Escuela de Ingenieria Quimica Bucaramanga, Colômbia. 2005.

PACHECO, N.; TRUJILLO, J. **Obtención de etanol por fermentación alcohólica a partir del exudado de la pulpa de cacao (*Theobroma cacao* L.)**. Lima, Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Farmacia y Bioquímica. 2019.

PÉREZ GÁLVEZ, J. C.; TORRES-MATOVILLE, P.; MOLINA-MOLINA, G.; GONZÁLEZ SANTA CRUZ, F. Gastronomic clusters in an Ecuadorian tourist destination: the case of the province of Manabí. **British Food Journal**, v. 122, n. 12, p. 3917-3934, 2020.

PISCO-CALDAS, J. W. **Caracterización reológica de una bebida elaborada com exudado de cacao (*Theobroma cacao* L.) CCN51 y suero láctico**. Tesis para optar el título de: Ingeniero en indústrias alimentarias, Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú. 2019.

PUERARI, C.; MAGALHÃES, K. T.; SCHWAN, R. F. New cocoa pulp-based kefir beverages: Microbiological, chemical composition and sensory analysis. **Food Research International**, v. 48, n. 2, p. 634-640, 2012.

QUIMBITA, F.; RODRIGUEZ, P.; VERA, E. Uso del exudado y placenta del cacao para la obtención de subproductos. **Revista Tecnológica-ESPOL**, v. 26, n. 1, 2013.

REPORT LINKER. **Global Tropical Fruit Puree Industry**. 2020. Disponível em: <https://www.reportlinker.com/p05900679/>. Acesso 20 set, 2020.

RODRIGUES, L. B. O. **Craft beer production using cocoa honey as an adjunct**. Brazil. Depósito: 30 abr. 2019. Concessão: 10 nov. 2020. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102019008742A2/pt?q=BR+102019008742>. Acesso em: 30 mar. 2021.

RODRÍGUEZ, Z.; JOEL, B. **Evaluación de la actividad antioxidante en el mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) Variedades: CCN-51 y nacional**. Quevedo. Tesis de Pregrado - Ingeniería en Alimentos, Facultad de Ciencias Pecuarias, UTEQ. 90 p. Ecuador. 2020.

RYTZ, A.; ADELIN, D.; LÊ, K. A.; TAN, D.; LAMOTHE, L.; ROGER, O.; MACÉ, K. Predicting Glycemic Index and Glycemic Load from Macronutrients to Accelerate Development of Foods and Beverages with Lower Glucose Responses. **Nutrients**, v. 11, n. 5, p. 1172, 2019.

ROJO-POVEDA, O.; BARBOSA-PEREIRA, L.; ZEPPA, G.; STÉVIGNY, C. Cocoa bean shell—A by-product with nutritional properties and biofunctional potential. **Nutrients**, v. 12, n. 4, article 1123, 2020.

RUESGAS-RAMÓN, M.; SUÁREZ-QUIROZ, M. L.; GONZÁLEZ-RÍOS, O.; BARÉA, B.; CAZALS, G.; FIGUEROA-ESPINOZA, M. C.; DURAND, E. Biomolecules extraction from coffee and cocoa by-and co-products using deep eutectic solvents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 1, p. 81-91, 2019.

SAMPEDRO, F.; MCALOON, A.; YEE, W.; FAN, X.; ZHANG, H. Q.; GEVEKE, D. J. Cost analysis of commercial pasteurization of orange juice by pulsed electric fields. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 17, n. 72-78, 2013.

SANTANDER, M.; VAILLANT, F.; SINUCO, D.; RODRÍGUEZ, J.; ESCOBAR, S. Enhancement of fine flavour cocoa attributes under a controlled postharvest process. **Food Research International**, p. 110236, 2021.

SANTOS, C. O. D.; BISPO, E. D. S.; SANTANA, L. R. R. D.; CARVALHO, R. D. S. D. Use of "cocoa honey" (*Theobroma cacao* L) for diet jelly preparation: an alternative technology. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 36, n. 3, p. 640-648, 2014.

SANTOS, F. L.; TADDEI, P. P. A.; SILVA, S. J. S.; DOS SANTOS, S. S.; PASSO, M.S. **Functional carbonated drink**. Federal University of Bahia Recôncavo (UFRB, Bahia, Brazil). Depósito: 6 jun. 2015. Concessão: 12 dez. 2017. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BR102015013975A2/en?q=BR102015013975>. Acesso em: 02 abr. 2021.

SANTOS, R. A. R.; NETA, M. T. S. L.; SILVA, M. A. A. P.; CARNELOSSI, M. A. G.; NARAIN, N. Process optimization for elaboration of cajá-umbu (*Spondias spp.*) fruit jelly: the effect of pulp and pectin contents on sensory attributes and volatile

constituents. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 24, Article 100315, 2021.

SANTOS, F. C. G.; KALID, R. A. Prospecção tecnológica: um estudo de tecnologias aplicadas ao processamento e derivados de cacau. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 9, n. 3, 2020.

SCAMPINI A. L. C. **Processo de produção de aguardente pela preparação, fermentação e destilação do mel de cacau**. BR 102018016061-3 A2. 2020.

SCHROTH, G.; GARCIA, E.; GRISCOM, B. W.; TEIXEIRA, W. G.; BARROS, L. P. Commodity production as restoration driver in the Brazilian Amazon? Pasture re-agro-forestation with cocoa (*Theobroma cacao*) in southern Pará. **Sustainability Science**, v. 11, p. 277–293, 2016.

SILVA, E. N.; RAMOS, D. C.; MENEZES, L. M.; SOUZA, S. O.; LANNES, S. C. S.; SILVA, M. V. Nutritional Value and antioxidant capacity of "Cocoa Honey" (*Theobroma cacao* L.). **Food Science Technology**, v. 34, n. 4, p. 755-759, 2014.

SOARES, T. F.; OLIVEIRA, M. B. P. Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. **Molecules**, v. 27, n. 5, p. 1625, 2022.

SOSA, J. M. R.; MANAYAY, E. D. R. **Aprovechamiento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) en la formulación de una bebida no alcohólica**. Tesis: título profesional Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Perú. 2018.

STATISCA. **Global cocoa bean production in 2018/19 and 2020/21, by country**, Statistica. 2021. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/263855/cocoa-bean-production-worldwide-by-region/>. Acesso em: 29 ago. 2021.

TACER-CABA, Z. The concept of superfoods in diet. **The Role of Alternative and Innovative Food Ingredients and Products in Consumer Wellness**. (1st ed.). Academic Press. 2019.

TESFAYE, T.; AYELE, M.; FEREDÉ, E.; GIBRIL, M.; KONG, F.; SITHOLE, B. A techno-economic feasibility of a process for extraction of starch from waste avocado seeds. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 23, n. 2, p. 581-595, 2021.

TONETTO. M. L. S.; BRINQUES. G. B.; GURAK. P. D. Utilização de farinha de subproduto de brotos para elaboração de massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 22. p. 1010. 2019.

TORRES-VALLEJO C.; DÍAZ OCAMPO R.; MORALES W.; VELASCO R.; VERA J.; BAREN C. Utilización del mucílago de cacao, tipo nacional y trinitario, en la obtención de jalea. **Españciencia**. v. 7, n. 1, p. 51-58, 2016.

TOTH, J.; LOPATA, J.; SCHWEIZER, C.; PACHARD, S. **Method for production and use of syrup derived from the fruit pulp of the cacao pod**. USA. Depósito: 8 set. 2015. Concessão: 8 set. 2016. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/WO2017044610A1/>. Acesso em 30 mar. 2021.

VÁSQUEZ, Z. S.; DE CARVALHO NETO, D. P.; PEREIRA, G. V.; VANDENBERGHE, L. P.; DE OLIVEIRA, P. Z.; TIBURCIO, P. B.; ROGEZ, H. L. G.; NETO, B. G.; SOCCOL, C. R. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. **Waste management**, v. 90, n. 1, p. 72-83, 2019.

VELOSO, M. C. R. A.; PIRES, M. R.; VILLELA, L. S.; SCATOLINO, M. V.; DE PAULA PROTÁSIO, T.; MENDES, L. M.; JÚNIOR, J. B. G. Potential destination of Brazilian cocoa agro-industrial wastes for production of materials with high added value. **Waste Management**, v. 118, n. 36-44, p. 2020.

VICTOR, A. S.; GOCKOWSKI, J.; AGYEMAN, N. F.; DZIWORNU, A. K. **Economic cost-benefit analysis of certified sustainable cocoa production in Ghana**. 48th Conference of African Association of Agricultural Economists, Africa and the Global Food and Financial Crisis, Cape Town, South Africa. 2010.

VIERA, J. B.; CUCELLE, B.; FESTRING, D. **Food products, ingredients, processes, and uses**. Société des Produits Nestlé S.A. Japan. Depósito: 14 dez. 2017. Concessão: 22 fev. 2021. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/JP2021506225A/>. Acesso em: 30 mar. 2021.

VIEIRA, J. B.; KUSCHEL, B.; FESTRING, D. **Food products, ingredients, processes, and uses**. Société des Produits Nestlé S.A. U.S. Patent Application No. 16/499,524. 2020.

YILDIZ, S.; POKHREL, P. R.; UNLUTURK, S.; BARBOSA CÁNOVAS, G. V. Identification of equivalent processing conditions for pasteurization of strawberry juice by high pressure, ultrasound, and pulsed electric fields processing. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 57, article 102195, 2019.

YU, M.; XIA, Y.; ZHOU, M.; GUO, Y.; ZHENG, J.; ZHANG, Y. Effects of different extraction methods on structural and physicochemical properties of pectins from finger citron pomace. **Carbohydrate Polymers**, v. 258, Article 117662, 2021.

WAGHMARE. R.; MEMON. N.; GAT. Y.; GANDHI. S.; KUMAR. V.; PANGHAL. A. Jackfruit seed: an accompaniment to functional foods. **Brazilian Journal of Food Technology**. v. 22. 2019.

WILLCOCKS, N.; UNLU, E.; GAO, Y. **Shelf stable, high moisture fruit confection products from cacao pulp**. Wm. Wrigley Jr. Company. USA. Depósito: 6 out. 2015. Concessão: 6 out. 2016. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/WO2017062603A1/en?q=WO+2017%2f062603+A>. Acesso em: 02 abr. 2021.

CAPITULO 1

Análise comparativa de tecnologias para conservação do mel de cacau para aplicação em biorrefinaria integrada

RESUMO

A fruta de cacau gera diversos resíduos e coprodutos durante o processo de pós-colheita, incluindo mel de cacau, resíduo rico em açúcares redutores, fibras dietéticas, vitamina C e compostos fenólicos com capacidade antioxidante. Uma biorrefinaria diminui a quantidade de resíduos utilizando operações e tecnologias integradas para fracionar biomassa produzindo alimentos, energia, materiais, produtos químicos e biológicos. A biorrefinaria para processamento do cacau poderia desempenhar um papel crucial no desenvolvimento econômico sustentável, sem desperdício para vários produtores da região. O cacau e os derivados sempre foram utilizados como base para o desenvolvimento de formulações funcionais de alimentos e bebidas, mas o conteúdo de compostos bioativos, incluindo polifenóis, pode variar dependendo das mudanças durante a pós-colheita, processos tecnológicos e armazenamento. Tecnologias de processamento não térmico, como irradiação gama, micro-ondas, liofilização diferem das tecnologias convencionais, como a pasteurização térmica, pois têm melhor desempenho na retenção das características originais dos alimentos e eficácia em dificultar o crescimento microbiano. Podem ocorrer alterações na composição de produtos processados durante o armazenamento, com perdas nutricionais significativas, além da diminuição da qualidade. Dados físico-químicos como ° Brix, pH, acidez, atividade hídrica e umidade foram caracterizados, além de compostos funcionais para melhor definição dos parâmetros de processamento. Comparando as tecnologias de processamento, a pasteurização a 65 °C foi o processo que mais influenciou negativamente a manutenção da estabilidade dos compostos bioativos. A dose de irradiação gama de 3 kGy, além de aumentar o teor de compostos fenólicos em relação ao controle de 424,3 mg de ácido gálico/100 g de mel de cacau a 431,3 ácido gálico/100 g de mel de cacau, garantiu melhor manutenção desses compostos

após armazenamento em temperatura controlada por 60 dias. As tecnologias estudadas podem compor processos para uma biorrefinaria desempenhando um papel importante no desenvolvimento sustentável e no aprimoramento do uso do mel de cacau.

Palavras-chave: Cacau. Resíduos. Tecnologias não térmicas. Compostos bioativos.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação com a relação entre dieta e imunidade tornou-se uma das maiores prioridades da população mundial nas últimas décadas, comportamento este que toma maiores proporções em situações atípicas como os efeitos catastróficos da pandemia de COVID-19. Isto porque doenças como hipertensão, diabetes e obesidade mórbida que têm correlação direta com a alta ingestão de gorduras, carboidratos e calorias em geral são comorbidades associadas a prognósticos negativos em pacientes debilitados por diferentes causas como exemplo, a COVID-19.

A tendência de adoção de alimentação saudável está transformando o mercado de alimentos (ROWAN; GALANAKIS, 2020). Governos, organizações internacionais como a Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS), indústrias de alimentos e pesquisadores buscam o desenvolvimento de novos produtos que, além de seguros, sejam saudáveis, por meio de programas de pesquisas multidisciplinares. Com isso, tenta-se adequar o processamento de alimentos às expectativas dos consumidores que buscam uma alimentação adequada para prevenção de doenças crônicas induzidas por hábitos de vida associados a uma alimentação incorreta (GALANAKIS, 2021; RIZOU *et al.*, 2020). A inclusão de produtos naturais com alto teor nutricional contendo compostos bioativos confere qualidade nutricional e funcional a alimentos processados (MACHADO; FURINI; DALLAZEM, 2019).

Dentre os compostos bioativos importantes na alimentação, destacam-se os antioxidantes naturais, uma vez que estes são capazes de prevenir ou reduzir os danos do estresse oxidativo causados pelo envelhecimento, que tem forte relação com desenvolvimento de várias condições patológicas, incluindo síndrome

metabólica, obesidade, diabetes, doenças cardiovasculares, câncer e doenças neurodegenerativas (FRANCESCHI *et al.*, 2018; LIGUORI *et al.*, 2018). A adição de ingredientes antioxidantes em alimentos, sejam moléculas isoladas, extratos ou óleos essenciais é uma tendência mundial. Como exemplo, a adição de polifenóis a alimentos e bebidas funcionais aqueceu um mercado global de US \$ 1,28 bilhões em 2018 com estimativa de crescimento anual de 7,2% até 2025 (GRAND VIEW RESEARCH, 2019; MARIATTI *et al.*, 2021).

A produção de frutas gera toneladas de resíduos na colheita, pós-colheita e industrialização, os quais são, na maioria das vezes, descartados de maneira inadequada, acarretando problemas ambientais como poluição do solo, dos recursos hídricos, perda de biodiversidade, emissões de gases de efeito estufa e não trazem nenhum benefício no propósito de alimentar pessoas (UNEP, 2021). Além de representarem perdas de matérias-primas, biomassa, nutrientes e energia, os resíduos agroindustriais necessitam de tratamento eficiente para evitar crescimento de microrganismos patogênicos (COELHO *et al.*, 2020; MARTINS *et al.*, 2019). Neste contexto, a valorização dos resíduos e subprodutos agroindustriais, com mitigação do desperdício, pode ser viabilizada dentro do conceito de biorrefinaria (PAINI *et al.*, 2021; TSEGAYE; JAISWAL; JAISWAL, 2021).

Resíduos e subprodutos agrícolas tem enorme potencial como fonte de ingredientes funcionais (GRANATO; NUNES; BARBA, 2017), pois podem conter vários compostos com alto valor biológico para os seres humanos como polissacarídeos, antioxidantes, polifenóis, óleos essenciais, pigmentos, proteínas, compostos aromatizantes, enzimas e fibras alimentares. A valorização destes compostos pode ser alcançada no desenvolvimento de alimentos funcionais como, por exemplo, adição de brotos de alfafa em massas alimentícias frescas (SILVA BRINQUES; GURAK; 2019), adição de farinha de sementes de jaca em alimentos nutracêuticos (ROJI *et al.*, 2019) e uso de bagaço de uva e trigo na impressão 3D de biscoitos funcionais (JAGADISWARAN *et al.*, 2021). Subprodutos do cacau também tem sido utilizado como base para o desenvolvimento de formulações de alimentos como, por exemplo, elaboração de geleia de pitaita enriquecida com mel de cacau exudado durante a etapa de fermentação (MIRANDA *et al.*, 2020) e a utilização da casca do grão de cacau para aumento do teor de fibras e do poder antioxidante em sorvetes (ROSSIN *et al.*, 2021).

A produção de cacau é classicamente associada somente com a exploração econômica das amêndoas para produção de chocolate (VOIGT *et al.*, 2018). A semente fresca representa 20% do peso total do fruto *in natura*, e as demais partes do fruto usualmente não são aproveitadas a nível comercial (PINHEIRO; SILVA, 2017). Porém, na pós-colheita do cacau, é gerada uma quantidade significativa de resíduos e subprodutos, dos quais os principais são a casca, mucilagem, placenta e o mel de cacau.

O mel de cacau tem cor transparente, sabor azedo e doce, textura mucilaginosa e é rico em açúcares redutores, fibras dietéticas, vitamina C e compostos fenólicos bioativos com capacidade antioxidante (GUIRLANDA; DA SILVA; TAKAHASHI, 2021). A Figura 1 mostra as etapas da produção do cacau, destacando a obtenção do mel de cacau.

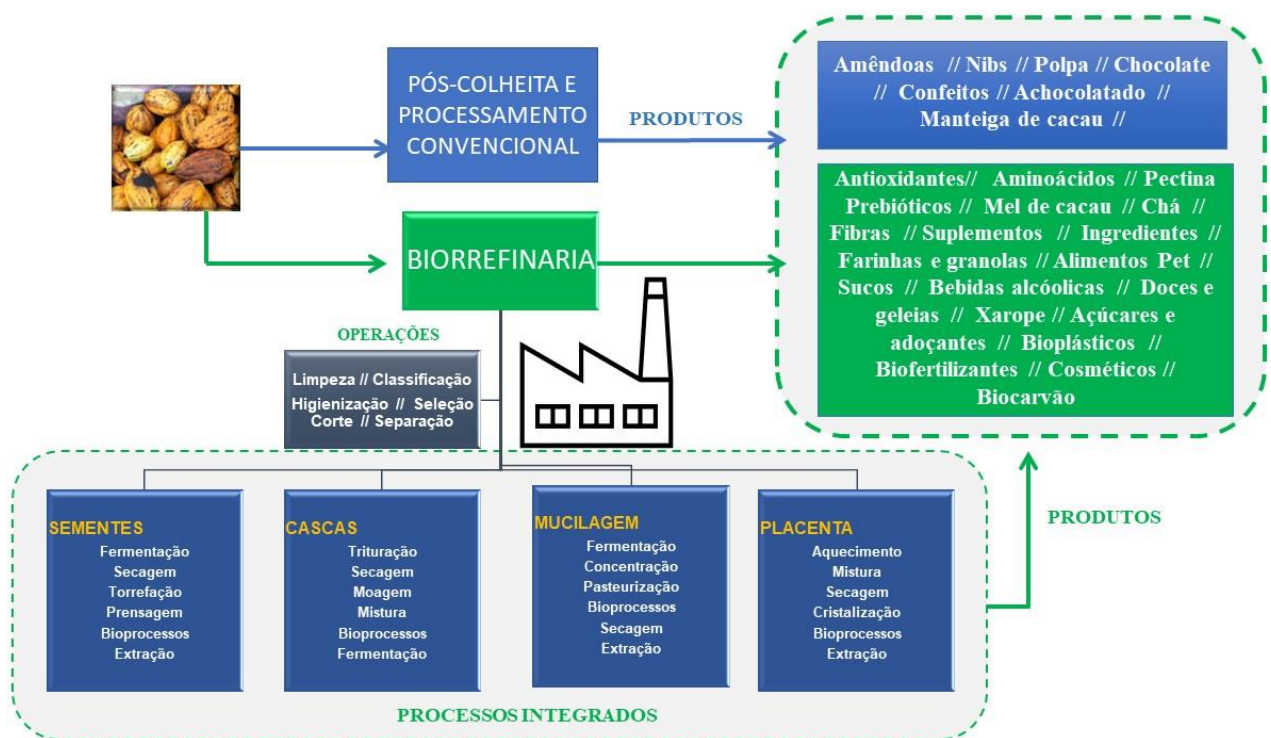
Figura 1 - Etapas de obtenção do mel de cacau no sistema de pós-colheita de cacau convencional



O mel de cacau e demais resíduos e subprodutos poderiam ser valorizados dentro do conceito do processamento integrado denominado biorrefinaria. Estratégias para produção sustentável do cacau apontam sobre a abordagem de

biorrefinaria integrada como forma de explorar várias maneiras de utilizar os resíduos obtidos para sua recuperação de produtos de valor agregado. Além disso, os resíduos da produção de cacau podem ser transformados em vários coprodutos, visando otimizar o desenvolvimento de resíduos e subprodutos para sustentabilidade com viabilidade industrial e benefícios econômicos com desperdício zero conforme figura 2.

Figura 2- Proposta de tecnologias integradas em biorrefinaria de cacau



Portanto o propósito de uma biorrefinaria é diminuir a quantidade de resíduos utilizando operações unitárias e tecnologias de processamento e conservação integradas para fracionar biomassas, produzir e diversificar produtos como alimentos, energia, materiais, fármacos, cosméticos, produtos químicos e biológicos (ORTIZ-SANCHEZ *et al.*, 2021; SIDDIKI *et al.*, 2022).

Na abordagem da biorrefinaria de cacau, após as operações de seleção, higienização e quebra do fruto, os passos são a extração e conservação do mel de cacau por processos tecnológicos, objetivando reduzir a carga microbiana e a inativação de enzimas com máximo de preservação dos compostos fenólicos

mantendo, alta qualidade e integridade da matéria-prima almejando valorização do produto.

O teor de compostos fenólicos presentes no cacau e em produtos derivados pode variar dependendo do grau de maturação do fruto, genótipo, alterações durante a pós-colheita, processos tecnológicos e armazenamento (N'ZI *et al.*, 2017). Diferenças no conteúdo de antocianinas e catequinas foram observadas em maiores quantidades nas variedades de cacau Forastero em relação à variedade Crioulo e em outras variedades do fruto presentes em localizações distintas na região amazônica (GIL *et al.*, 2021). Porém, a estabilidade dos compostos bioativos de cacau e derivados esbarra no processamento, que pode promover a destruição ou modificação química dos fitoquímicos naturais, e conseqüente redução da capacidade antioxidante. Estas alterações ocorrem devido à instabilidade natural dos compostos frente às condições tecnológicas de processamento e armazenamento, como incidência de luz, temperatura, oxigênio, pH, presença de íons metálicos, bem como como do tempo de armazenamento e transporte influenciam na bioatividade, bioacessibilidade e nas propriedades físicas e sensoriais dos compostos benéficos à saúde no produto final (ARAÚJO-RODRIGUES *et al.*, 2021; FEBRIANTO; ZHU, 2019; KYRIAKOUDI *et al.*, 2021).

Alguns métodos convencionais de processamento térmico convencional como a pasteurização a 65 °C reduzem significativamente os componentes nutricionais presentes nas fontes alimentares, além de demandarem alto consumo de energia não renovável (DONG; WANG; RAGHAVAN, 2021). O uso de tecnologias não destrutivas para melhorar a qualidade de alimentos é fundamental para a economia circular, que prioriza a aplicação de manufaturas consideradas verdes e sustentáveis para diminuição do consumo de energia, melhoria na qualidade dos produtos e redução do tempo de processamento (MARIATTI *et al.*, 2021; RAJPUT; SINGH, 2019). Estas novas tecnologias de processamento não térmico, também chamadas de tecnologias emergentes, geralmente têm melhor desempenho na retenção das características originais dos alimentos e melhoram a eficiência do processo de eliminação de patógenos e alérgenos (ABBASPOUR-GILANDEH *et al.*, 2021; DONG; WANG; RAGHAVAN, 2021; XU *et al.*, 2020).

As tecnologias não térmicas que mais evoluem na indústria de alimentos incluem alta pressão hidrostática, ultrasonicação, irradiação gama, campo elétrico

pulsado, secagem por radiofrequência, aquecimento eletromagnético, fluidos supercríticos, plasma frio e nanoencapsulação (SALEHI, 2021). As tecnologias não térmicas não são baseadas na utilização de altas temperaturas, mas na geração de calor por meio da transmissão de energia interna, que reduz o teor de microrganismos e minimiza a deterioração das características sensoriais, nutricionais e funcionais dos alimentos (GALANAKIS, 2013).

Tecnologias não térmicas são especialmente necessárias no tratamento pós-colheita de vegetais como estratégia para manter os teores de compostos bioativos. Além disto, a eficiência destas tecnologias e a minimização de danos ao ambiente, aos alimentos e ao consumidor fazem desta, uma técnica verde de processamento de alimentos útil para enfrentar os desafios de sustentabilidade na cadeia de produção de alimentos (SATTAR *et al.*, 2019; SOTO; GONZÁLEZ; GALMARINI, 2021). Apesar de promissoras, irradiação, secagem por liofilização e armazenamento ainda podem gerar perdas em compostos bioativos de frutas e vegetais durante a conservação pós-colheita (VANAMALA *et al.*, 2005).

A conservação por irradiação consiste na exposição dos alimentos a uma determinada dosagem de radiação ionizante por um período específico de tempo para reduzir ou eliminar microrganismos patógenos, pragas agrícolas como insetos e até retardar o brotamento de sementes. O monitoramento do alimento tratado é realizado para verificar se a dosagem ou o nível de tratamento foi adequado para o sucesso do processo (KHOURYIEH, 2021). A tecnologia de irradiação gama é um método viável para estender a vida de prateleira de produtos naturais, com mínima influência em suas propriedades biológicas. Porém, alterações estruturais, químicas e nutricionais mediadas por radicais livres induzidos pela radiação podem ocorrer (JEONG *et al.*, 2018; FIERASCU *et al.*, 2021).

Outra tecnologia importante em diversos segmentos, principalmente na indústria de alimentos, consiste na pasteurização assistida por micro-ondas, uma das tecnologias emergentes mais amplamente estudada nas últimas décadas. O aquecimento eletromagnético ou micro-ondas tem a capacidade de aquecer rapidamente um material com propriedades dielétricas que absorve a energia das micro-ondas e a converte em calor (GUZIK *et al.*, 2021). Apresenta vantagens em relação ao aquecimento convencional, como aquecimento volumétrico rápido, devido à difusão simultânea e melhor transferência de calor, não superaquece a superfície

dos alimentos, tem curto tempo de processamento, aquecimento mais uniforme, maior eficiência energética, melhora a qualidade e elimina o enrijecimento do produto. Como consequência, proporciona melhores atributos sensoriais, como aparência, cor e textura, além de menores perdas sensoriais e nutricionais do produto (HONG *et al.*, 2021; SZADZIŃSKA; MIERZWA, 2021; TANG *et al.*, 2018). A tecnologia de micro-ondas foi estudada para pasteurização de alimentos como tamarindo e bebidas verdes (GONZÁLEZ-MONROY *et al.*, 2018), purê de tomate (PÉREZ-TEJEDA *et al.*, 2016), e suco de laranja (AGHAJANZADEH & ZIAIIFAR, 2018).

A secagem é um conceito amplamente difundido na indústria de alimentos, normalmente aplicado para converter matérias-primas em produtos estáveis na prateleira. A técnica avançou da tradicional secagem convectiva a ar quente para a liofilização, para manter mais eficientemente as propriedades nutricionais e organolépticas do produto fresco inicial. A liofilização é considerada um processo complexo, apesar do número pequeno de etapas envolvidas (congelamento, sublimação, dessorção e reconstituição) para alcance da qualidade do produto final. O processo produz alimentos de qualidade mais alta do que qualquer outro método de secagem, sendo ainda mais suave do que os métodos convencionais de secagem ao ar, porque começa removendo o calor, enquanto os demais métodos iniciam com aplicação de calor ao produto (WARD; MATEJTCHUK, 2021). A liofilização é considerada a operação mais cara para a indústria pois é um processo de longo prazo, com baixa taxa de secagem, alto consumo de energia pelos sistemas de refrigeração e vácuo, fatores que elevam os custos de operação e manutenção, sendo recomendado até sua substituição por processos convencionais para produtos vegetais (JIANG *et al.*, 2019, TAVONE *et al.*, 2021). Apesar da maior eficiência da liofilização para preservação de compostos do que os métodos convencionais de secagem, os efeitos podem não ser duradouros e os produtos resultantes podem ser instáveis durante o armazenamento, com deterioração rápida da alta qualidade inicial do produto (UDDIN *et al.*, 2002).

Alterações na composição nutricional durante o processamento e armazenamento influenciam de forma negativa a qualidade dos alimentos (CAO *et al.*, 2021). A degradação dos nutrientes pode ser influenciada pelo material de embalagem, atmosfera, tempo e temperatura de armazenamento (SHINWARI; RAO,

2018). Entre os compostos susceptíveis estão os polifenóis, que podem se degradar facilmente pelo efeito de fatores como luz, calor, oxigênio, reações químicas, presença de enzimas e de íons metálicos (DENG *et al.*, 2018).

A eficiência de processos para conservação de frutas, vegetais e seus derivados pode ser avaliada pela determinação da estabilidade dos polifenóis comparando-se o conteúdo antes e após o processamento (CAO, *et al.*, 2021). O desenvolvimento e a aplicação de tecnologias apropriadas para elaboração de novos alimentos e bebidas funcionais com características químicas e sensoriais mais próximas das características naturais, a partir de subprodutos como o mel de cacau, são importantes. Estes processos agregam valor, nutrientes, minimizam o desperdício agrícola, valorizam resíduos de biomassa, diversificam a indústria de alimentos, geram renda e promovem sustentabilidade da exploração da cultura do cacau. Existe uma lacuna de trabalhos que avaliem a aplicação de tecnologias de processamento e os efeitos que métodos de conservação, tanto convencionais como emergentes, em relação à influência na estabilidade de compostos fenólicos e atividade antioxidante do mel de cacau.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de tecnologias de conservação como irradiação gama, liofilização, pasteurização por micro-ondas, pasteurização a 65 °C e armazenamento refrigerado quanto a conservação dos compostos bioativos do mel de cacau.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material

2.1.1 Obtenção do mel de cacau

O mel de cacau utilizado foi gentilmente fornecido por uma empresa produtora de subprodutos de cacau do município de Ilhéus – BA, obtido por prensagem envasado em garrafas plásticas e congelado a -18°C. Para ser utilizado nos laboratórios da UFMG, o mel de cacau foi descongelado em refrigerador a 4 ± 2 °C, de acordo com a quantidade necessária para cada ensaio.

2.1.2 Equipamentos

Os equipamentos utilizados foram higrômetro (Aqualab, modelo 4TEV, EUA), pHmetro digital portátil de leitura direta (Asko AK90, Brasil), refratômetro analógico portátil faixa de medição de 0 a 90% Brix (Asko RHB0 - 90, Brasil), câmara irradiadora de 96 m² com irradiador de cobalto 60 (MDS Nordion, Canadá), Liofilizador (LIOTOP, modelo L101, Brasil), tacho concentrador construído em aço inox com capacidade de 25 L aquecimento por meio de resistência elétrica e com controle de pressão de vapor monitorada por manômetro (TECNINT, Brasil), desidratador de materiais biológicos por energia eletromagnética (patente n° PI2208045001115, Brasil) construído em aço inox contendo sistemas de entrada e saída de ar, vapor e umidade e sistema de fornecimento de energia constituído por dois geradores de potência de 2.45 GHz e dois magnetrons (2m319K), termômetro digital por infravermelho com mira laser GM 400 (RoHs) para faixa de medição de 50 a 380 °C (TOMTECT, Australia), incubadora B.O.D. MA 415 com ajuste de temperatura (MARCONI, Brasil), espectrofotômetro (Biospectro, SP-22, China), estufa de secagem de ar circulante (QUIMIS, Brasil), balança analítica (Shimadzu, Japão).

2.2 Métodos

2.2.1 *Determinação de acidez, pH, sólidos solúveis totais, atividade de água (aW) e umidade do mel de cacau in natura.*

As análises físico-químicas foram realizadas para auxiliar no delineamento dos processos de conservação. A acidez foi determinada pelo método titulométrico e expressada em porcentagem de ácido cítrico com solução padronizada de NaOH 0,1 N (BRASIL, 1986). A atividade de água (aW) foi analisada em aparelho determinador de atividade de água (PAULO *et al.*, 2021), o pH foi determinado com uso de pHmetro digital portátil de leitura direta à temperatura ambiente (TRENTIN *et al.*, 2021). Os sólidos solúveis totais foram determinados por leitura direta em refratômetro analógico portátil (SILVA SOUZA; PINHEIRO, 2021) e os resultados expressos em °Brix. O teor de umidade foi determinado pelo método gravimétrico

em estufa a 105 °C até peso constante segundo a AOAC (2000), sendo o resultado expresso em % (g/100 g) de mel de cacau.

2.2.2 *Fenólicos totais*

A detecção de fenólicos totais foi realizada utilizando o método de Folin-Ciocalteu (BAKAR *et al.*, 2009). Essa metodologia consistiu em misturar o mel de cacau (0,5 a 1000 µg/mL) com 2,58 mL de reagente de Folin-Ciocalteu. Após 3 min, uma solução saturada de carbonato de sódio (0,3 mL) foi adicionada, seguindo-se incubação por 20 min à temperatura ambiente. A absorbância foi então medida em uma cubeta de quartzo em espectrofotômetro (comprimento de onda de 760 nm) e os resultados foram expressos em equivalentes de ácido gálico por 100 g de mel de cacau.

2.2.3 *Flavonoides totais*

Os flavonoides totais foram avaliados através do método de cloreto de alumínio (CACIQUE *et al.*, 2021). Alíquotas do mel de cacau (0,5 mL), água (2,5 mL) e nitrito de sódio (150 µL) (5% p/v) foram combinados e agitados em vórtex por 10 s. Após 5 min em repouso adicionaram-se 300 µL de cloreto de alumínio 10% (p/v), 1 mL de NaOH (1 mM) e 550 µL de água. Esta mistura foi homogeneizada e incubada à temperatura ambiente por 15 min. A absorbância das amostras em uma cubeta de quartzo em comprimento de onda a 510 nm em espectrofotômetro e os resultados expressos em equivalentes de quercetina (µg quercetina/g mel de cacau).

2.2.4 *Avaliação da atividade antioxidante total (método de fosfomolibdênio)*

A atividade antioxidante total foi avaliada utilizando a metodologia de Prieto *et al.* (1999). O mel de cacau (0,1 mL), dissolvido em água, foi adicionado a 3 mL de solução reagente (ácido sulfúrico 0,6 M, fosfato de sódio 28 mM e molibdato de amônio 4 mM). O conteúdo foi misturado e incubado por 90 min a 95 °C. Após arrefecimento à temperatura ambiente, as absorbâncias das amostras foram lidas em uma cubeta de quartzo em comprimento de onda a 695 nm em

espectrofotômetro relação ao branco (solvente e solução reagente). Os resultados foram expressos em mmol de ácido ascórbico por g de mel de cacau.

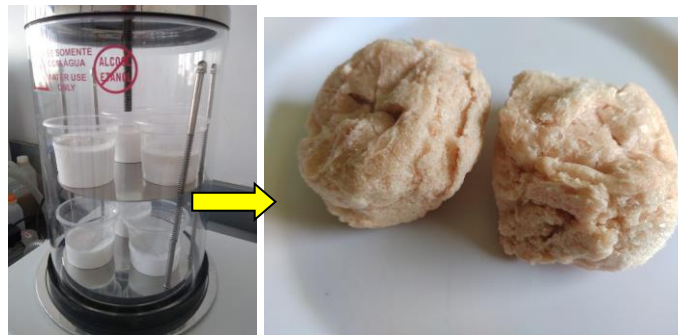
2.2.5 Irradiação gama

A irradiação do mel de cacau *in natura* foi realizada no Laboratório de irradiação gama do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN, Brasil). O experimento foi realizado com o objetivo de avaliar efeito da radiólise na estabilidade dos compostos bioativos do mel de cacau. Amostras de 200 mL cada foram irradiadas na temperatura ambiente em triplicata para cada dose distinta (3, 5 e 10 kGy) (RODRIGUES *et al.*, 2021). A taxa de dose emitida pela fonte de Cobalto 60 foi 186,90 kGy.h⁻¹. Logo após o processo de irradiação gama, os materiais irradiados foram armazenados sob refrigeração (4 ± 2 °C) por 60 dias, até a realização das análises.

2.2.6 Liofilização

Amostras de 200 mL de mel de cacau *in natura* acondicionadas sem adição de material de parede, em frascos de material polietileno com diâmetro de 11 cm e altura de 7,5 cm em triplicata, foram imersos em nitrogênio líquido objetivando congelamento rápido. Os frascos com material congelado foram depositados em equipamento liofilizador, que foi hermeticamente fechado (Figura 3). O sistema de congelamento foi acionado e o material atingiu temperatura de - 54 °C e pressão 88 µHg. Em seguida, o sistema de resfriamento foi interrompido e o vácuo foi acionado para que parte da água livre do mel de cacau fosse sublimada. O processamento foi realizado em triplicata e durou 36 h. As amostras de mel de cacau liofilizadas foram armazenadas em temperatura controlada de refrigeração 4 ± 2 °C por 60 dias, até realização das análises.

Figura 3 - Liofilizador e produto obtido após a secagem



Fonte: Própria autoria

2.2.7 Pasteurização 65 °C

O mel de cacau *in natura* foi processado por pasteurização convencional, cujos parâmetros utilizados corresponderam àqueles indicados para alimentos com pH ácido, ou seja, $\text{pH} < 4,5$ e aquecimento a 65 °C durante 30 min (GAO *et al.*, 2021). O processo ocorreu em tacho encamisado, com produção de vapor gerado por sistema de resistência elétrica. Após a pasteurização, as amostras foram acondicionadas ainda quentes em garrafas de vidro de 300 mL com tampas metálicas, sendo resfriadas em água corrente e posteriormente em banho de gelo. Após o processo, as amostras foram armazenadas sob temperatura controlada de refrigeração 4 ± 2 °C por 60 dias, até realização das análises.

2.2.8 Pasteurização assistida por micro-ondas

Amostras *in natura* de mel de cacau com volume de 200 mL cada, contidas em frascos de polietileno, foram aquecidas por energia eletromagnética na cavidade de um desidratador micro-ondas desenvolvido para máxima transferência de energia ao material biológico (RABELLO; COURA; GUIRLANDA, 2008). A temperatura foi monitorada usando termômetro digital por infravermelho. Durante o processo de aquecimento, a potência de saída de micro-ondas foi disposta para 1300 W por 12 s e temperatura média de 90 °C (GONZÁLEZ-MONROY *et al.*, 2018). O produto foi resfriado por sistema de circulação de ar forçado e posteriormente inserido em

banho de gelo. Após o processo, as amostras foram armazenadas sob temperatura controlada refrigeração a 4 ± 2 °C por 60 dias até realização das análises.

2.2.9 *Estudo de armazenamento refrigerado*

O conteúdo dos compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante foram quantificados em tempos distintos. A primeira análise foi realizada imediatamente após aplicação da tecnologia de processamento no tempo inicial 0 e, a segunda, após 60 dias de armazenamento em temperatura controlada de refrigeração 4 ± 2 °C. As amostras, após processadas, foram acondicionadas em incubadora B.O.D. com controle de temperatura de 4 ± 2 °C por um período de 60 dias (ROCKETT *et al.*, 2021).

2.2.10 *Análise estatística*

Os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados das análises foram tratados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA), seguido pela comparação das médias pelo teste t do Tukey usando a versão do Minitab Statistical Software 20 com nível de confiança de 95%. A análise de cada amostra foi feita em três repetições e os resultados foram expressos como Média \pm Desvio padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Determinação de acidez titulável, atividade de água (aW), pH, sólidos solúveis totais e umidade.

Os resultados das determinações físico-químicas realizadas com o mel de cacau *in natura*, em comparação com a literatura, são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Dados físico-químicos do mel de cacau *in natura*.

Análises	Média ± desvio padrão (dados experimentais)	MELO NETO <i>et al.</i> , 2016	SOSA; MANAYAY, 2018	LEITE <i>et al.</i> , 2019	MAGALHÃES, 2021
Acidez titulável (%)	0,70 ± 0,02	0,70	1,08	10,34	1,20
aW	0,95 ± 0,00	nr	nr	nr	nr
pH	3,6 ± 0,06	2,8	nr	3,5	3,9
Sólidos solúveis totais (°Brix)	16,00 ± 0,58	14,03	14,57	14,70	15,00
Umidade (%)	75,10 ± 0,26	87,22	84,61	85,86	nr

nr = não relatado

A acidez total média de 0,70% foi concordante com o valor de 0,70% mencionado por Melo Neto *et al.* (2016) e abaixo dos valores relatados por Sosa & Manayay (2018) e por Magalhães (2021) (1,08% e 1,2%, respectivamente) (Tabela 1). Porém, Leite *et al.*, 2019 relataram acidez de 10,34%, que pode ser devido à alta concentração de ácidos orgânicos como ácido cítrico, ácido málico, ácido acético, ácido oxálico, ácido láctico, ácido fumárico, e ácido ascórbico presentes no mel de cacau analisado pelos autores (ANVOH; ZORO; GNAKRI, 2009 *et al.*, 2009; INDIARTO *et al.*, 2021). Brasil (2018) estabelece limites mínimos de 0,75 (% de ácido cítrico) para acidez titulável para suco de cacau. Como o mel de cacau é um resíduo, resultado da ação de leveduras pecnolíticas na polpa da amêndoa durante o processo de fermentação do cacau, não se tem padrão de identidade e qualidade (PIC) estabelecido por legislação (ALBARRACÍN *et al.*, 2021; VÁSQUEZ *et al.*, 2019).

O cultivar e o genótipo do cacau podem influenciar nos atributos físico-químicos do fruto do cacau e seus derivados. Acidez com valores de $0,98 \pm 0,38\%$ de ácido cítrico para polpa de cacau foram determinados em clones de cacaueiro CCN51. Clones PS1319 apresentaram um valor muito inferior ($0,36 \pm 0,26\%$), tendo

sido caracterizado como abaixo do valor determinado pela legislação (BRASIL, 2018). A acidez corrobora para processos térmicos de conservação e industrialização que utilizam temperaturas suaves como a pasteurização e também para desenvolvimento e produção de geleias e doces de frutas (MELO NETO *et al.*, 2013). O valor de 0,7% encontrado para acidez do mel de cacau estudado pode ser útil para preservação das características sensoriais como sabor agridoce, aromas florais e a cor. O pH determinado para o mel de cacau (3,6) foi similar ao valor encontrado por Leite *et al.* (2019) (Tabela 1). O pH é importante para a definição de métodos de processos com temperaturas menores que 100 °C.

O teor de sólidos solúveis encontrado (16,00 °Brix) foi superior aos valores relatados por Melo Neto *et al.* (2016), Leite *et al.* (2019) e Magalhães (2021) (Tabela 1). O aumento do teor de sólidos solúveis pode vir de uma técnica utilizada por produtores para melhorar o processo de fermentação, a qual consiste em misturar diferentes híbridos de frutos de cacau com teores de açúcares diversos para produzir chocolates que satisfaçam o paladar dos consumidores (MARTINEZ *et al.*, 2021).

A atividade de água detectada para o mel de cacau (0,95) está na faixa considerada alta ($a_w > 0,90$) (MOURA *et al.*, 1998) e corrobora valores relatados para polpa de cacau na safra (0,94) (PENHA; MATTA, 1998) e para suco de maçã (0,98) (BUERMAN; WOROBO; PADILLA-ZAKOUR, 2021). A atividade de água influencia os alimentos de forma significativa, sendo uma propriedade física de importância na indústria de alimentos. A determinação deste parâmetro ajuda a prever a vida útil, a atividade metabólica dos microrganismos, alterações físico-químicas e sensoriais e definir métodos de processamento para os alimentos (SUBBIAH; BLANK; MORISON, 2020). A atividade da água também deve ser considerada para o desenvolvimento de metodologias de armazenamento de produtos, pois alimentos com menor atividade da água colaboram para a estabilidade dos constituintes (CAO *et al.*, 2021). Fang & Bhandari (2011) apontaram perdas de polifenóis em *bayberry* secos por atomização com aumento da atividade de água de 0,11 para 0,44 durante armazenamento sob diferentes temperaturas (5, 25 e 40 °C). A atividade de água identificada no presente trabalho para o mel de cacau pode ser responsável por maiores perdas de compostos bioativos do mel de cacau durante o período de armazenamento. O teor de umidade encontrado para o

mel de cacau analisado (75,10%) difere dos valores apontados na literatura que usualmente são superiores a 84,61% (SOSA; MANAYAY, 2018), chegando até 87,22% (MELO NETO *et al.*, 2016).

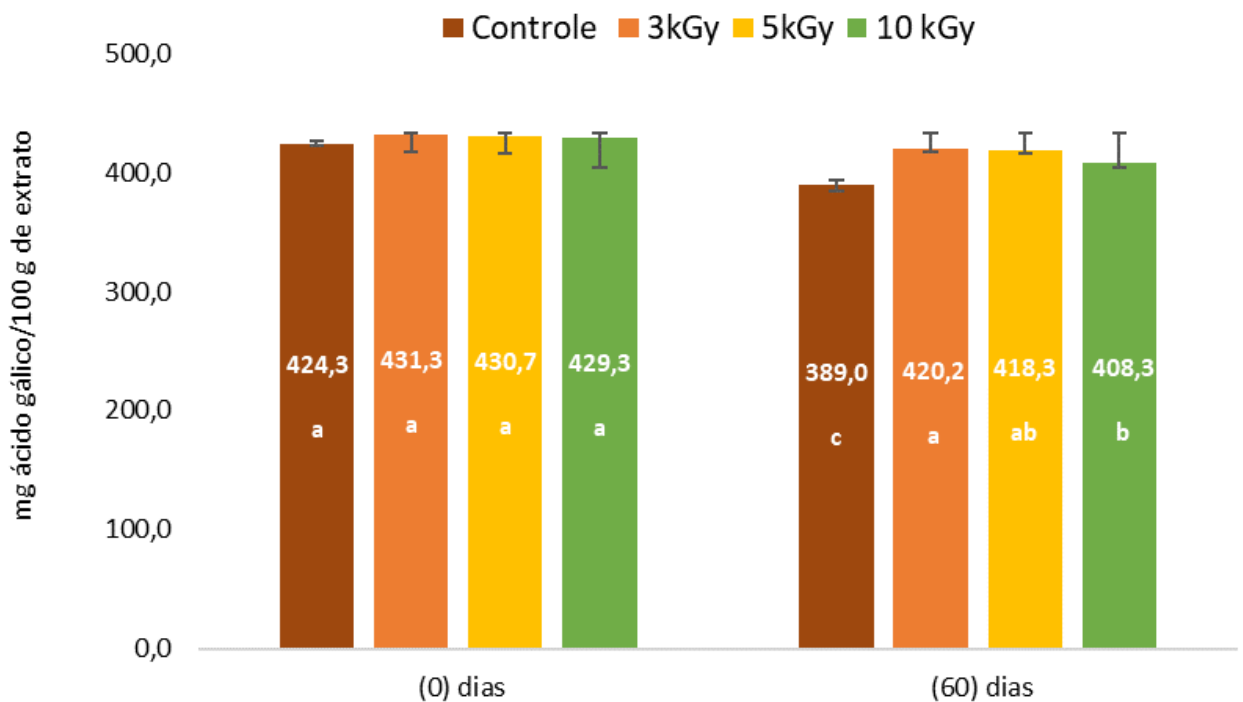
Os resultados das análises físico-químicas, apresentados na Tabela 1, mostraram algumas diferenças principalmente entre os teores de sólidos solúveis e de umidade entre as amostras e os dados da literatura. Embora os frutos que deram origem ao mel de cacau estudado tenham sido coletados na mesma região que aqueles utilizados em outros trabalhos, diversos parâmetros como variações climáticas, índice pluvial, insolação, genética vegetal, ambiente de cultivo, solo, altitude, manejo, estágio de maturação, cultivar, condições pós-colheita e processamento podem influenciar o perfil físico e químico dos alimentos e bebidas derivados de vegetais (ARAÚJO-RODRIGUES *et al.*, 2021; MORAIS *et al.*, 2021; NERI *et al.*, 2020). O teor ideal de cada componente para que uma determinada matéria-prima seja considerada de boa qualidade dependerá do tipo de processamento a que se destina. Assim, considerando-se o mel de cacau como derivado de uma biorrefinaria, os parâmetros das amostras locais deverão ser levados em consideração para o desenvolvimento de produtos e monitoração da variação sazonal deverão ser levados em consideração para a adaptação do processo, visando minimizar diferenças visuais e sensoriais significativas no produto ao longo do ano.

3.2 Avaliação do efeito da irradiação gama nos conteúdos de fenólicos totais, flavonoides totais e na atividade antioxidante total

As análises foram realizadas com as amostras imediatamente após o processamento (tempo 0) e nos resultados obtidos após 60 dias de armazenamento refrigerado. Os resultados foram demonstrados graficamente nas figuras 4, 5 e 6 quanto à comparação das médias para avaliação da estabilidade dos compostos fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante total com a aplicação de irradiação gama sendo doses distintas de 3, 5 e 10 kGy, nos tempos 0 e 60 dias. Segundo a WHO (1999), doses abaixo de 10 kGy são consideradas doses médias seguras, para as quais não é exigido exame toxicológico posterior à irradiação. Análise de variância (ANOVA) seguida pela comparação das médias pelo teste t de

Tukey, com nível de confiança de 95% ($p < 0,05$) foram realizadas para os dados experimentais obtidos, visando identificar as variáveis que produziram influência significativa nos compostos bioativos do mel de cacau.

Figura 4 - Representação gráfica do efeito das diferentes doses de irradiação gama no conteúdo de fenólicos totais do mel de cacau após processamento no tempo 0, e após armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração ($4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) por 60 dias.



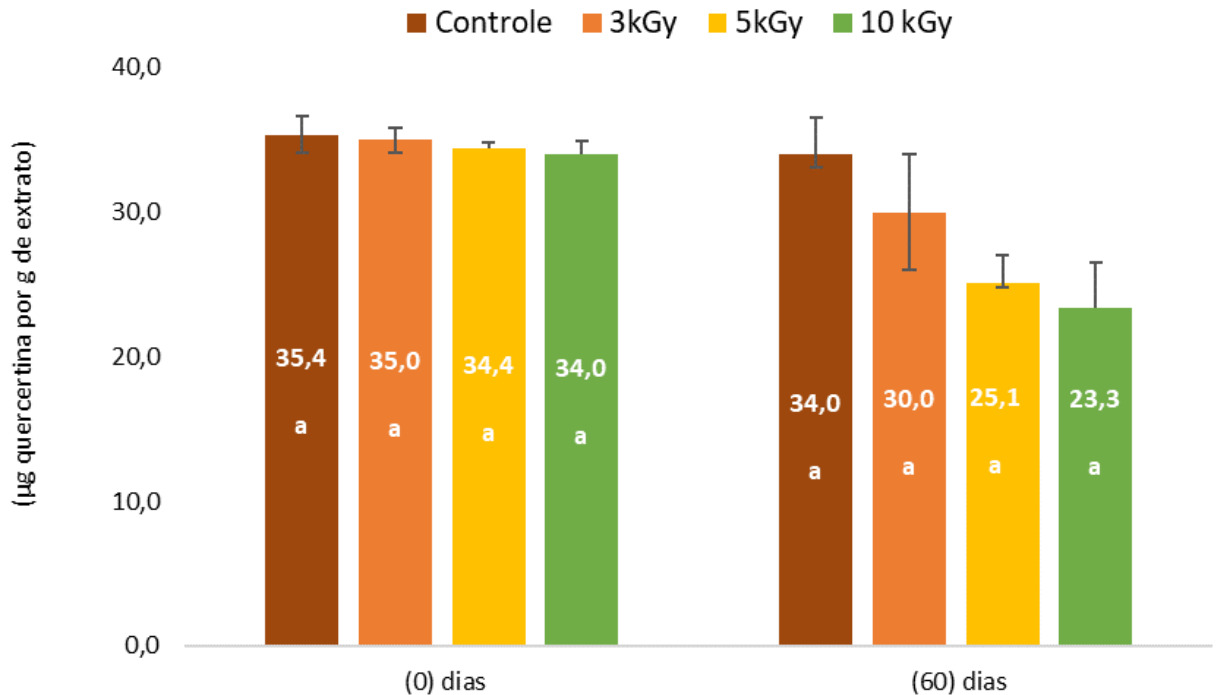
A Figura 4 apresenta a variação do conteúdo de fenólicos totais do mel de cacau logo após ser irradiado (tempo 0) e após armazenamento sob refrigeração a $4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ por 60 dias, em relação a uma amostra não irradiada (controle). Em relação ao tempo zero, os resultados indicam que, independentemente da dose, o processo de irradiação gama do mel de cacau não alterou significativamente o conteúdo de compostos fenólicos totais em relação à amostra controle (não irradiada). Observou-se, ainda, que a amostra controle apresentou redução significativa do conteúdo de fenólicos totais após 60 dias, mesmo tendo sido acondicionada sob refrigeração.

A preservação do conteúdo fenólico no mel de cacau irradiado corrobora dados da literatura. Em diversos trabalhos foi relatado que a irradiação gama manteve ou até aumentou o conteúdo fenólico, como em sucos de vegetais frescos (SONG *et al.*, 2006). Aumento de fenólicos também foi relatado em folhas da planta *Cammellia sinensis* irradiadas com dosagens entre 2,0 e 10,0 kGy (FANARO *et al.*, 2014; PEREIRA *et al.*, 2015) e em amostras de canela, cravo, cúrcuma, soja e flores comestíveis tratadas com irradiação gama (KOIKE *et al.*, 2015; TAHERI *et al.*, 2014; VILLAVICENCIO *et al.*, 2018). Este aumento pode ter relação com a quebra de ligações químicas das moléculas de polifenóis em compostos fenólicos solúveis de baixo peso molecular (HUSSAIN *et al.*, 2019; KHATTAK; SIMPSON, 2008). Corroborando esta observação, Kim *et al.* (2020) observaram que o aumento da dose de raios gama até 10 kGy promoveu mudanças físico-químicas e da qualidade funcional de *Saengshik*, um alimento coreano, com ligeiro incremento no teor de clorofilas, carotenoides, fenólicos e na atividade antioxidante ao fim do processo.

Amostras de mel monofloral da Malásia (mel Gelam e Nenas) irradiados foram comparados com amostras não irradiadas, tendo sido constatado aumento do conteúdo de fenólicos totais, atribuído ao efeito da radiólise de compostos fenólicos como ácido gálico e ácido cafeico (BREITFELLNER; SOLAR; SONTAG, 2002; HUSSEIN *et al.*, 2011).

O armazenamento sob refrigeração por 60 dias não causou diferença significativa no teor de fenólicos totais para as amostras irradiadas com 3 e 5 kGy, mas houve diferença significativa deste teor no mel de cacau irradiado com a maior dose (10 kGy). Utilizando um nível de 95% de confiança ($p < 0,05$), a análise estatística revelou haver diferença mínima significativa ($p < 0,05$) nas interações indicando a influência das várias dosagens de radiação gama e tempo de armazenamento refrigerado 60 dias na diferença significativa quanto ao teor de fenólicos totais.

Figura 5 - Representação gráfica do efeito das diferentes doses de irradiação gama no conteúdo de flavonoides totais do mel de cacau após processamento no tempo 0, e após armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração ($4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) por 60 dias.



O efeito da radiação também foi avaliado em relação ao conteúdo de flavonoides totais do mel de cacau que, como pode ser observado na Figura 5, não foi alterado pela irradiação, já que as amostras recém irradiadas não apresentaram diferença significativa em relação ao controle. Após 60 dias sob refrigeração, também não foram observadas diferenças significativas, nem relacionadas à dose, nem ao tratamento utilizando um nível de 95% de confiança ($p > 0,05$).

Barkaoui *et al.* (2021) compararam teores de flavonoides de morangos, irradiados e não irradiados sob armazenamento sendo que, após o tratamento com radiação gama no tempo 0, o conteúdo de flavonoides dos morangos diminuiu significativamente em comparação com o controle e com o morango irradiado. Adicionalmente, após 14 dias de armazenamento ocorreu decréscimo nos conteúdos de flavonoides nas amostras controle não irradiadas e nas amostras irradiadas com

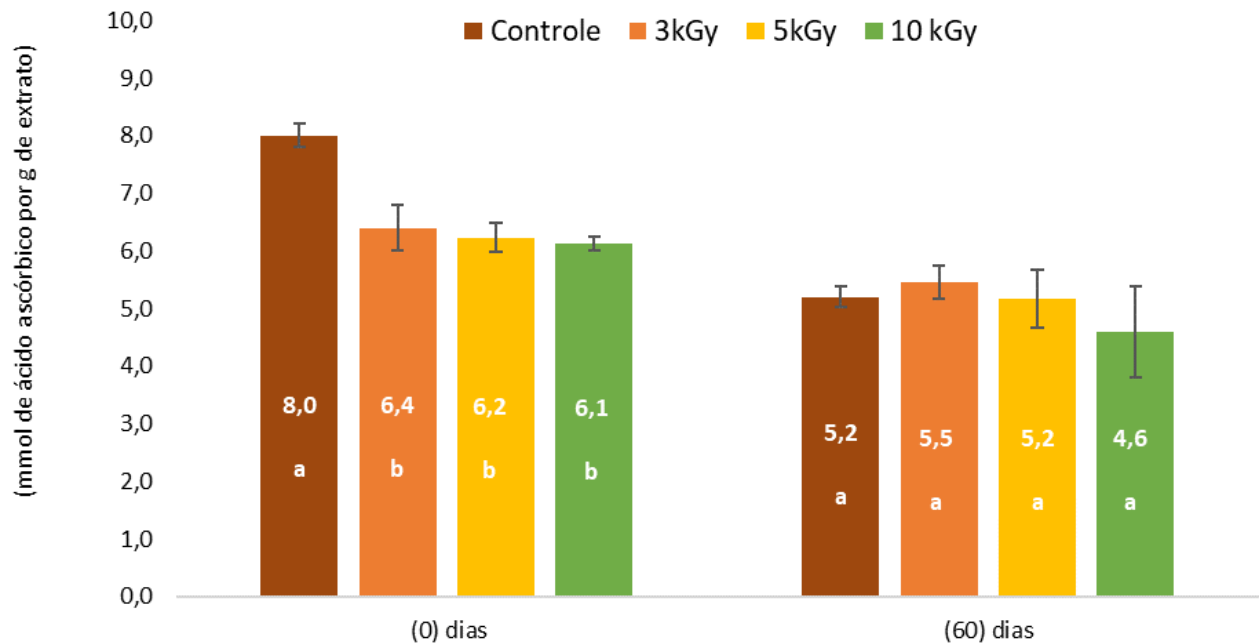
3 kGy. Reduções de flavonoides em produtos irradiados com aumento de doses acima de 2 kGy, armazenados ou não, foram determinadas em produtos como extrato de cascas de amêndoas (MOOSAVI *et al.*, 2014), rúcula minimamente processada e irradiada (NUNES *et al.*, 2008) e em sementes de soja (DIXIT *et al.*, 2010).

No entanto, aumento de polifenóis como flavonoides foi observado para os grãos de centeio variedade ZEA irradiados na dose de 3 e 10 kGy (15 e 6% respectivamente) em comparação com o controle (GUMUL; BERSKI, 2021). Perfil de polifenóis e potencial antioxidante de grãos de centeio irradiados.

Os conteúdos de polifenóis presentes nas cascas de laranja irradiadas também foram alterados com um aumento na dose de 1 para 2 kGy (MOUSSAID *et al.*, 2004). Aumento de compostos bioativos após irradiação estão associados a quebra de ligações glicosídicas de com a liberação de moléculas menores (GUMUL; BERSKI, 2021). Variações de comportamento do conteúdo dos flavonoides podem ser explicadas pelas diferentes composições químicas de diferentes tipos de matérias-primas, além da ação dos raios gama sobre ligações químicas, que resultam em alterações moleculares ou na ativação de enzimas capazes de induzir a síntese de compostos (GUMUL; BERSKI, 2021).

As variáveis não apresentaram significância para a irradiação, utilizando um nível de 95% de confiança ($p > 0,05$). A análise estatística pode apontar que as interações dosagem de radiação gama e tempo de armazenamento em temperatura de refrigeração 4 ± 2 °C não apresentaram diferenças significativas quanto ao teor de flavonoides totais.

Figura 6 - Representação gráfica do efeito das diferentes doses de irradiação gama na atividade antioxidante total do mel de cacau após processamento no tempo 0, e submetido a armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração 4 ± 2 °C por 60 dias.



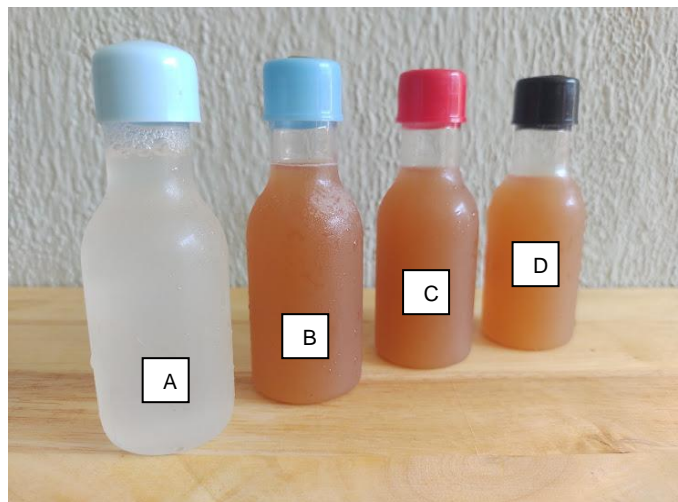
Na figura 6 pode se observar que, no tempo 0 dia, a amostra de mel de cacau usada como controle apresentou significativamente maior atividade antioxidante total do que as demais amostras logo após serem irradiadas (tempo 0) indicando perda de compostos logo após a aplicação da tecnologia de irradiação gama em todas as doses. Já sob armazenamento refrigerado por 60 dias, as amostras não apresentaram diferença significativa relacionada ao processo de irradiação.

Efeitos positivos da irradiação gama sobre a erva *Peperomia pelucida* foram relatados para atividade antioxidante com irradiação gama ≤ 5 kGy. Porém, foi observada diminuição quando a irradiação foi realizada com as doses de 7,5 e 10 kGy (ADHITIA *et al.*, 2017). Diminuição da atividade antioxidante inicial em torno 31% foi relatada durante armazenamento refrigerado de cenouras por 6 meses, embora, nas mesmas condições de armazenamento por 15 dias, não se detectou

diferença significativa na atividade antioxidante (ARABSHAHI-D; DEVI; UROOJ, 2007; KOCA; KARADENIZ, 2008).

Trivedi & Dikshit (2021) relataram perdas na qualidade nutricional de alimentos irradiados com doses entre 1 e 10 kGy. A intensidade do efeito da radiólise varia conforme a dose da radiação absorvida, ou as condições de processamento e até a composição do alimento irradiado. O desequilíbrio nos processos de oxirredução enzimática devido a reações de oxidação e de redução pode gerar a formação de radicais ao longo do processo de irradiação gama (TEZOTTO-ULIANA *et al.*, 2014). Este efeito pode explicar o escurecimento das amostras de mel de cacau tratadas com irradiação gama, conforme mostra a figura 7.

Figura 7 - Mudanças provocadas pelo efeito da irradiação gama na cor do mel de cacau



Fonte: Própria autoria

A) Cor de mel de cacau *in natura* B) Cor de mel de cacau após 60 dias de irradiação a 3 kGy C) Cor de mel de cacau após 60 dias de irradiação a 5 kGy D) Cor de mel de cacau após 60 dias de irradiação a 10 kGy

Utilizando um nível de 95% de confiança ($p > 0,05$), pode-se comprovar que as interações dosagem de radiação gama e tempo de armazenamento 60 dias em temperatura de refrigeração não apresentaram diferença significativa quanto à atividade antioxidante total.

3.3 Avaliação das tecnologias de processamento nos conteúdos de fenólicos totais, flavonoides totais e na atividade antioxidante total, conforme o tempo de armazenamento sob refrigeração a 4 ± 2 °C.

O mel de cacau foi submetido aos processos tecnológicos de conservação (liofilização, pasteurização por micro-ondas e pasteurização a 65°C) e os conteúdos de fenólicos totais, flavonoides totais e a atividade antioxidante total foram avaliados e comparados entre com os teores determinados para um controle. A amostra de mel de cacau irradiada com 3 kGy também foi avaliada, por ser o processo que apresentou efeito com menor dose de irradiação gama aplicada. Na tabela 2 foram compilados os resultados destas análises para cada processo tecnológico de conservação, após processamento no tempo inicial 0 e após armazenamento por 60 dias em temperatura controlada de refrigeração (4 ± 2 °C).

Tabela 2 - Valores para fenólicos totais, flavonoides totais e atividade antioxidante total após aplicação das tecnologias de processamento no tempo 0 e após 60 dias de armazenamento sob temperatura controlada de refrigeração.

Tecnologia de processamento	Fenólicos totais (mg ácido gálico /100 g de mel de cacau)		Flavonoides totais (µg quercertina /g de mel de cacau)		Atividade antioxidante total (mmol de ácido ascórbico /g de mel de cacau)	
	0	60**	0	60**	0	60**
Controle	424,3 ± 2,1 ^{aA}	389,0 ± 3,0 ^{bA}	35,4 ± 1,3 ^{aA}	30,4 ± 2,6 ^{aB}	8,00 ± 0,2 ^{aA}	5,20 ± 0,9 ^{bB}
Irradiação (3 kGy)	429,3 ± 4,2 ^{aA}	418,3 ± 3,0 ^{aA}	35,4 ± 0,9 ^{aA}	28,0 ± 4,0 ^{aA}	6,40 ± 0,4 ^{bA}	5,45 ± 0,3 ^{bA}
Liofilização	414,8 ± 2,2 ^{aA}	402,3 ± 2,1 ^{aA}	32,4 ± 1,3 ^{aA}	28,4 ± 4,2 ^{aA}	5,97 ± 0,2 ^{cA}	4,88 ± 0,2 ^{cB}
Pasteurização por micro-ondas	416,9 ± 1,3 ^{aA}	386,5 ± 8,7 ^{bA}	34,1 ± 1,7 ^{aA}	24,8 ± 2,4 ^{aB}	7,43 ± 0,4 ^{aA}	7,10 ± 0,5 ^{aA}
Pasteurização 65°C	363,4 ± 5,8 ^{bA}	362,1 ± 3,7 ^{cA}	31,5 ± 1,4 ^{aA}	24,0 ± 3,6 ^{bB}	7,16 ± 0,1 ^{bA}	4,90 ± 0,7 ^{cB}

*Resultados expressos em média da triplicata ± desvio padrão. Médias dentro de uma coluna que são seguidas por letras minúsculas diferentes são significativamente diferentes, de acordo com o teste t de Tukey (p < 0,05). Médias dentro de uma linha que são seguidas por letras maiúsculas diferentes são significativamente diferentes, de acordo com o teste t de Tukey (p < 0,05). ** Número de dias de armazenamento a 4 ± 2 °C.

Os compostos fenólicos totais mostraram-se estáveis no tempo zero, ou seja, imediatamente após passarem pelos diferentes tratamentos, tendo sido detectada alteração significativa ($p < 0,05$) apenas quando se utilizou a tecnologia de pasteurização a 65 °C entre os processos. Após armazenamento refrigerado por 60 dias não houve diferença significativa devido o tempo de armazenamento por 60 dias não demonstrando influência da estocagem. Contudo, as tecnologias de irradiação gama e liofilização apresentaram teor de compostos fenólicos totais significativamente iguais entre si e maiores do que a amostra não processada e as amostras submetidas aos demais tecnologias de conservação tecnológicos ($p < 0,05$). Os teores de fenólicos totais do mel de cacau após a tecnologia de pasteurização por micro-ondas ($386,5 \pm 8,7$ mg/100 g) e pasteurização a 65 °C ($363,4 \pm 5,8$ mg/100 g), além de apresentarem diferenças significativas ($p < 0,05$) entre si, foram inferiores aos teores das demais amostras, demonstrando as diferentes influências dos processos tecnológicos no teor de fenólicos do mel de cacau, após armazenamento sob refrigeração por 60 dias. O teor de fenólicos totais de todas as amostras tanto no tempo 0 e como após 60 dias são superiores aos relatados na literatura para mel de cacau ($101,50 \pm 0,03$ mg/100 g) (SILVA *et al.*, 2014) e para polpa de frutas como caju e goiaba ($201,61 \pm 19,15$ e $104,76 \pm 4,39$ mg/100 g, respectivamente) porém inferiores ao teor relatada para a acerola ($835,25 \pm 32,44$ mg/100g) (VIEIRA *et al.*, 2011).

Perdas de compostos fenólicos em processos que envolvem aquecimento como a pasteurização podem estar associados à degradação de compostos fenólicos termossensíveis (TEMBO; HOLMES; MARSHALL, 2017). Para a tecnologia de pasteurização assistida por micro-ondas, a influência do processo pode decorrer da degradação dos componentes durante a exposição prolongada à energia da radiação (SAHRAOUI *et al.*, 2011). O teor de umidade da matéria-prima antes do processamento por micro-ondas deve ser observado, pois a água desempenha um papel importante como fase de absorção de energia eletromagnética. A preservação dos compostos bioativos pode ser otimizada pois alimentos com menor teor de umidade requerem menor tempo de processamento (HAYAT *et al.*, 2010; SATTAR *et al.*, 2019).

O conteúdo dos flavonoides totais não apresentou perdas significativas comparando as tecnologias de conservação logo após o processo (tempo 0). Diferenças significativas ocorreram devido o efeito do armazenamento por 60 dias no controle e tecnologias de pasteurização por micro-ondas e e pasteurização a 65°C. Comparando os valores entre as tecnologias após armazenamento refrigerado por 60 dias, foi identificada perda no conteúdo dos flavonoides com o uso da tecnologia de pasteurização a 65°C que apresentou diferença significativa com diminuição do conteúdo de flavonoides totais ($24,0 \pm 3,6 \mu\text{g/g}$), em relação ao controle e as demais tecnologias de conservação.

O conteúdo de flavonoides totais do mel de cacau submetido aos diferentes processos (Tabela 2) foram superiores ($7,19 \pm 0,01 \mu\text{g quercertina/g}$) aos valores relatados na literatura (SILVA *et al.*, 2014), porém inferiores ao encontrados em mostos de uvas das cultivares Niagara Rosada IAC – 766 ($69 \pm 2 \mu\text{g quercertina/g}$) e Syrah ($104 \pm 5 \mu\text{g quercertina/g}$), cultivadas no estado de Minas Gerais (Brasil) (ABE *et al.*, 2007).

Perdas de conteúdo de flavonoides totais também foram relatados em sucos pasteurizados (BRASIL *et al.*, 2017; RODRÍGUEZ-ROQUE *et al.*, 2015).

A pasteurização a 65 °C reduziu os teores de compostos bioativos da polpa de cajá e murici, porém o tempo de aplicação do tratamento não alterou tais teores (SALES; WAUGHON, 2013).

Na avaliação da estabilidade da atividade antioxidante total no tempo zero, comparando entre as tecnologias de conservação, somente a pasteurização por micro-ondas mostrou-se capaz de reter a atividade antioxidante estatisticamente igual à do controle; as demais tecnologias demonstraram diferenças significativas ($p < 0,05$). A tecnologia de liofilização foi o que mais influenciou negativamente a atividade antioxidante, apresentando diferença estatística significativa ($p < 0,05$), em relação aos demais processos no tempo zero.

Análise comparativa entre as tecnologias após armazenamento refrigerado ($4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) por 60 dias, a atividade antioxidante da amostra de mel de cacau irradiada foi significativamente igual à do controle, enquanto a liofilização e a pasteurização a 65 °C diminuíram esta atividade ($p < 0,05$). Alterações em compostos bioativos decorrentes de processos de liofilização podem ser atenuados com técnicas de encapsulamento utilizando materiais da parede que podem proteger compostos

bioativos como vitamina E, antocianinas, catequina e α -tocoferol. O encapsulamento permite melhorar a estabilidade, estender a vida útil, minimizar o estresse ambiental e aumentar o percentual de retenção (KAWASAKI; SHIMANOUCI; KIMURA, 2019).

Diminuição significativa de compostos antioxidantes foi relatada em sucos de amora submetidos a aquecimento, variando de 30 a 42% em suco tratado com pasteurização convencional e 30% para suco tratado com micro-ondas (JIANG *et al.*, 2015).

A avaliação do efeito do armazenamento refrigerado por 60 dias de cada processo, demonstrou que não ocorreram diferenças significativas ($p < 0,05$) nos processos de irradiação na dose 3 kGy e pasteurização por micro-ondas demonstrando mais estabilidade.

As condições ideais de armazenamento quanto ao tempo e à temperatura devem ser estudadas para cada produto específico, mas a perda de compostos fenólicos durante a estocagem é considerada inevitável (CAO *et al.*, 2021) devido à oxidação dos compostos fenólicos na presença de oxigênio (AYOB *et al.*, 2021). Como exemplo, Iqbal *et al.* (2015) relataram diminuição significativa ($p \leq 0,05$) dos fenólicos totais em pimentas durante 150 dias de armazenamento.

A temperatura de armazenamento aceleram reações de oxidorredução, afetando diretamente a cor e os compostos funcionais de frutas e vegetais liofilizados durante o armazenamento (SYAMILA *et al.*, 2019; SILVA-ESPINOZA *et al.*, 2021).

Mudanças na estabilidade dos compostos antioxidantes (redução nos teores de vitamina C, carotenoides e compostos fenólicos totais) e da capacidade antioxidante foram relatadas, ao longo do armazenamento à temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, em polpas pasteurizadas e não pasteurizadas de *Physalis peruviana* L. (MACHADO; MONTEIRO; TIECHER, 2019). Quiroz-González (2020) apontou que, durante estudos de armazenamento de pitaia tratada por tecnologia emergente de alta pressão, acidez, compostos fenólicos, betaína e atividade antioxidante não mudaram nas frutas processadas no tempo zero, mas diminuíram em 43, 10, 14 e 5% respectivamente após 60 dias de armazenamento refrigerado, demonstrando a influência do tempo de estocagem. Alterações que afetam compostos bioativos ocorridas devido ao tempo de armazenamento foram relatadas para noz-pecã (RÁBAGO-PANDURO *et al.*, 2020), perdas de vitamina C em frutos de laranja

(PLAZA *et al.*, 2011) e redução de compostos fenólicos em suco de maçã tratados com ultrafiltração (CAI *et al.*, 2020).

4 CONCLUSÃO

O mel de cacau estudado mostrou-se ácido, com baixo pH, rico em sólidos solúveis totais e alta atividade de água e umidade. O uso de radiação gama, uma tecnologia amplamente utilizada para aumentar a vida de prateleira de alimentos, foi positiva para manutenção do conteúdo dos compostos bioativos do mel de cacau. Isso pôde ser visualizado pelo aumento no conteúdo de fenólicos totais no tempo 0 logo após o mel de cacau ser irradiado. A irradiação foi eficiente para a conservação do mel de cacau, já que após 60 dias de armazenamento, o conteúdo de flavonoides totais e a atividade antioxidante não apresentaram perdas significativas, sendo a dose de 3 kGy a mais eficiente para a manutenção do conteúdo dos compostos bioativos em todos os testes.

Em relação às demais tecnologias de conservação utilizadas, a pasteurização a 65 °C se mostrou menos eficaz, apresentou perdas nos conteúdos de compostos bioativos na maior parte dos testes, exceto na avaliação da atividade antioxidante no tempo 0. Por outro lado, os processos de irradiação com dose 3 kGy e a pasteurização por micro-ondas mostraram resultados encorajadores, tais como aumento no conteúdo dos compostos fenólicos após o processo de irradiação e a manutenção da atividade antioxidante tanto após o processamento no tempo 0 como após o armazenamento refrigerado por 60 dias. O processo de liofilização promoveu estabilidade para manutenção dos compostos fenólicos totais e dos flavonoides totais, porém é necessário avaliar seu custo operacional. No entanto, estudos adicionais são necessários para melhor elucidar o papel das tecnologias investigadas, aplicadas de forma integrada em biorrefinaria quanto a propriedades bromatológicas e microbiológicas do mel de cacau. Em conclusão, as tecnologias de conservação não térmicas se apresentam como alternativas factíveis para preservação dos compostos bioativos de coprodutos como mel de cacau, contribuindo com o papel da biorrefinaria para a obtenção e diversificação de produtos de valor agregado, economicamente viáveis em escala, com linhas de produção que utilizam processos integrados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBASPOUR-GILANDEH, Y.; KAVEH, M.; FATEMI, H.; AZIZ, M. Combined Hot Air, Microwave, and Infrared Drying of Hawthorn Fruit: Effects of Ultrasonic Pretreatment on Drying Time, Energy, Qualitative, and Bioactive Compounds' Properties. **Foods**, v. 10, n. 5, p. 1006, 2021.

ABE, L. T.; MOTA, R. V. D.; LAJOLO, F. M.; GENOVESE, M. I. Compostos fenólicos e capacidade antioxidante de cultivares de uvas *Vitis labrusca* L. e *Vitis vinifera* L. **Food Science and Technology**, v. 27, n. 2, p. 394-400, 2007.

ADHITIA, A. M.; OCTAVIANI, A. N.; BASAH, K.; MUN'IM, A. Effect of gamma irradiation on angiotensin converting enzyme inhibition, antioxidant activity, total phenolic compound and total flavonoid of *Peperomia pellucida* herbs extract. **Pharmacognosy Journal**, v. 9, n. 2, 2017.

AGHAJANZADEH, S.; ZIAIIFAR, A. M. A review of pectin methylesterase inactivation in citrus juice during pasteurization. **Trends in Food Science & Technology**, v. 71, p. 1-12, 2018.

ALBARRACÍN, D. F. P.; DAZA, L. J. L.; YÁÑEZ, D. F. C.; TIRADO, T. D. S. B.; ARGÜELLO, C. A.; DÍAZ, M. C. Estudio cuantitativo de tendencias en el aprovechamiento de los subproductos del cacao (*Theobroma cacao* L.). **Espacio I+D: Innovación más Desarrollo**, v. 10, n. 27, 2021.

ANVOH, K. Y. B.; ZORO, A. B.; GNAKRI, D. Production and characterization of juice from mucilage of cocoa beans and its transformation into marmalade. **Pakistan Journal of Nutrition**, v. 8, n. 2, p. 129-133, 2009.

ARABSHAHI-D, S.; DEVI, D. V.; UROOJ, A. Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their heat, pH and storage stability. **Food Chemistry**, v. 100, n. 3, p. 1100-1105, 2007.

AOAC (ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY). Official Methods of Analysis, 17th ed, Washington, D.C. USA. 2000.

ARAÚJO-RODRIGUES, H.; SANTOS, D.; CAMPOS, D. A.; RATINHO, M.; M RODRIGUES, I.; E PINTADO, M. Development of Frozen Pulps and Powders from Carrot and Tomato by-Products: Impact of Processing and Storage Time on Bioactive and Biological Properties. **Horticulturae**, v. 7, n. 7, p. 185, 2021.

AYOB, O.; HUSSAIN, P. R.; SURADKAR, P.; NAQASH, F. Gamma irradiation and storage effects on quality and safety of Himalayan paprika (Waer). **LWT**, v. 147, p. 111667, 2021.

BAKAR, M. F. A.; OHAMED, M.; RAHMAT, A.; FRY, J. Phytochemicals and antioxidant activity of different parts of bambangan (*Mangifera pajang*) and tarap (*Artocarpus odoratissimus*). **Food chemistry**, v. 113, n. 2, p. 479-483, 2009.

BARKAOUI, S.; MANKAI, M.; MILOUD, N. B.; KRAÏEM, M.; MADUREIRA, J.; VERDE, S. C.; BOUDHRIOUA, N. Effect of gamma radiation coupled to refrigeration on antioxidant capacity, sensory properties and shelf life of strawberries. **LWT**, v. 150, p. 112088, 2021.

BRASIL, E.; CHAVES, D. F. S.; XAVIER, A. A. O.; MERCADANTE, A. Z.; HASSIMOTTO, N. M.; LAJOLO, F. M. Effect of pasteurization on flavonoids and carotenoids in *Citrus sinensis* (L.) Osbeck cv. 'Cara Cara' and 'Bahia' juices. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 65, n. 7, p. 1371-1377, 2017.

BUERMAN, E. C.; WOROBO, R. W.; PADILLA-ZAKOUR, O. I. High pressure processing of heat and pressure resistant fungi as affected by pH, water activity, sulfites, and dimethyl dicarbonate in a diluted apple juice concentrate. **Food Control**, v. 120, p. 107551, 2021.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Portaria nº 76 de 26 de novembro de 1986. **Dispõe sobre os métodos analíticos de bebidas e vinagre**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 28 nov. 1986. Seção 1, pt. 2.

BRASIL – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Instrução normativa nº 37, de 8 de outubro de 2018. **Parâmetros analíticos e quesitos complementares aos padrões de identidade e qualidade de suco de fruta**. Diário oficial da união Publicado em: 08/10/2018, Ed 194, Seção: p. 23.

BREITFELLNER, F.; SOLAR, S.; SONTAG, G. Effect of γ -irradiation on phenolic acids in strawberries. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 2, p. 517-521, 2002.

CACIQUE, A. P.; BARBOSA, É. S.; DE PINHO, G. P.; SILVERIO, F. O. Miniaturized Methodologies for Determining the Total Phenol and Flavonoid Concentrations and the Antioxidant Activity. **Food Analytical Methods**, p. 1-11, 2021.

CAI, M.; XIE, C.; LV, Y.; YANG, K.; SUN, P. Changes in physicochemical profiles and quality of apple juice treated by ultrafiltration and during its storage. **Food Science & Nutrition**, v. 8, n. 6, p. 2913-2919, 2020.

CAO, H.; SAROGLU, O.; KARADAG, A.; DIACONEASA, Z.; ZOCCATELLI, G.; CONTE-JUNIOR, C. A.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; BAI, W.; ZAMARIOLI, C. M.; FREITAS, L. A. P.; SHPIGELMAN, A.; CAMPELO, P. H.; CAPANOGLU, E.; HUI, C. L.; JAFARI, S. M.; QI, Y.; LIAO, P.; WANG, M.; ZOU, L.; BOURKE, P.; SIMAL-GANDARA, J.; XIAO, J. Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. **Food Frontiers**, 2021.

COELHO, M. C.; PEREIRA, R. N.; RODRIGUES, A. S.; TEIXEIRA, J. A.; PINTADO, M. E. The use of emergent technologies to extract added value compounds from grape by-products. **Trends in Food Science & Technology**, v. 106, p. 182-197, 2020.

DENG, J.; YANG, H.; CAPANOGLU, E.; CAO, H.; XIAO, J. **Technological aspects and stability of polyphenols**. In C. M. Galanakis (Ed.), *Polyphenols: Properties, recovery, and applications* (295–323). Cambridge, UK: Woodhead Publishing. 2018.

DIXIT, A. K.; BHATNAGAR, D.; KUMAR, V.; RANI, A.; MANJAYA, J. G.; BHATNAGAR, D. Gamma irradiation induced enhancement in isoflavones, total phenol, anthocyanin and antioxidant properties of varying seed coat colored soybean. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 7, p. 4298-4302, 2010.

DONG, X.; WANG, J.; RAGHAVAN, V. Critical reviews and recent advances of novel non-thermal processing techniques on the modification of food allergens. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 61, n. 2, p. 196-210, 2021.

FANARO, G. B.; HASSIMOTTO, N. M. A.; BASTOS, D. H. M.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H. Effects of γ -radiation on microbial load and antioxidant proprieties in green tea irradiated with different water activities. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 107, p. 40-46, 2015.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of spray drying and storage on the stability of bayberry polyphenols. **Food Chemistry**, v. 129, n. 3, p. 1139–1147, 2011.

FEBRIANTO, N. A.; ZHU, F. Intravariety Diversity of Bioactive Compounds in Trinitario Cocoa Beans with Different Degrees of Fermentation. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, n. 11, p. 3150-3158, 2019.

FIERASCU, I.; DITU, L. M.; SUTAN, A. N.; DRĂGHICEANU, O. A.; FIERASCU, R. C.; AVRAMESCU, S. M.; LUNGULESCUE, E.M.; NICULA, N.; SOARE, L. C. Influence of gamma irradiation on the biological properties of *Asplenium scolopendrium* L. hydroalcoholic extracts. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 181, p. 109175, 2021.

FRANCESCHI, C.; GARAGNANI, P.; PARINI, P.; GIULIANI, C.; SANTORO, A. Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint for age-related diseases. **Nature Reviews Endocrinology**, v. 14, n. 10, p. 576, 2018.

GALANAKIS, C. M. Functionality of food components and emerging technologies. **Foods**, v. 10, n. 1, p. 128, 2021.

GALANAKIS, C. M. Emerging technologies for the production of nutraceuticals from agricultural by-products: a viewpoint of opportunities and challenges. **Food and Bioproducts Processing**, v. 91, n. 4, p. 575-579, 2013.

GAO, X.; FENG, T.; LIU, E.; SHAN, P.; ZHANG, Z.; LIAO, L.; MA, H. Ougan juice debittering using ultrasound-aided enzymatic hydrolysis: Impacts on aroma and taste. **Food Chemistry**, v. 345, p. 128767, 2021.

GIL, M.; URIBE, D.; GALLEGO, V.; BEDOYA, C.; ARANGO, S. Traceability of polyphenols in cocoa during the postharvest and industrialization processes and their biological antioxidant potential. **Heliyon**, e07738, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07738>

GONZÁLEZ-MONROY, A. D.; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, G.; OZUNA, C.; SOSA-MORALES, M. E. Microwave-assisted pasteurization of beverages (tamarind and green) and their quality during refrigerated storage. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 49, p. 51-57, 2018.

GRANATO, D.; NUNES, D. S.; BARBA, F. J. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. **Trends in Food Science & Technology**, v. 62, p. 13-22, 2017.

GRAND VIEW RESEARCH. **Cocoa beans market size, share & trends analysis report by application (cosmetics, confectionery, pharmaceuticals), by product (butter, powder, liquor), by distribution channel (online, offline), and segment forecasts, 2019–2025.** 2019. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cocoa-beans-market>. Acesso em: 20 jan. 2020.

GUIRLANDA, C. P.; DA SILVA, G. G.; TAKAHASHI, J. A. Cocoa honey: agro-industrial waste or underutilized cocoa by-product?. **Future Foods**, v. 4, p. 100061, 2021.

GUMUL, D.; BERSKI, W. The Polyphenol Profile and Antioxidant Potential of Irradiated Rye Grains. **International Journal of Food Science**, v. 2021, 2021.

GUZIK, P.; KULAWIK, P.; ZAJĄC, M.; MIGDAL, W. Microwave applications in the food industry: an overview of recent developments. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, p. 1-20, 2021.

HAYAT, K.; ZHANG, X.; FAROOQ, U.; ABBAS, S.; XIA, S.; JIA, C.; ZHONG, F.; ZHANG, J. Effect of microwave treatment on phenolic content and antioxidant activity of citrus mandarin pomace. **Food Chemistry**, v. 123, p. 423–429, 2010.

HONG, Y. K.; LIU, F.; TANG, Z.; PEDROW, P. D.; SABLANI, S. S.; YANG, R.; TANG, J. A simplified approach to assist process development for microwave assisted pasteurization of packaged food products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 68, 102628, 2021.

HUSSAIN, P. R.; RATHER, S. A.; SURADKAR, P. P.; AYOB, O. Gamma irradiation treatment of quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill): effect on post-harvest retention of storage quality and inhibition of fungal decay. **Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 12, n. 1, p. 118-131, 2019.

HUSSEIN, S. Z.; YUSOFF, K. M.; MAKPOL, S.; YUSOF, Y. A. M. Antioxidant capacities and total phenolic contents increase with gamma irradiation in two types of Malaysian honey. **Molecules**, v. 16, n. 8, p. 6378-6395, 2011.

INDIARTO, R.; RAIHANI, Z. R.; DEWI, M. P.; AQILA, Z. R.; EFENDI, M. Y. A Review of Innovation in Cocoa Bean Processing By-Products. **International Journal**, v. 9, n. 8, 2021.

IQBAL, Q.; AMJAD, M.; ASI, M. R., ARIÑO, A.; ZIAF, K.; NAWAZ, A.; AHMAD, T. Stability of Capsaicinoids and antioxidants in dry hot peppers under different packaging and storage temperatures. **Foods**, v. 4, n. 2, p. 51-64, 2015.

JAGADISWARAN, B.; ALAGARASAN, V.; PALANIVELU, P.; THEAGARAJAN, R.; MOSES, J. A.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Valorization of food industry waste and by-products using 3D printing: A study on the development of value-added functional cookies. **Future Foods**, p. 100036, 2021.

JEONG, G. H.; CHO, J. H.; JO, C.; LEE, S.; LEE, S. S.; BAI, H. W.; CHUNG, B.Y.; KIM, T. H. Gamma irradiation-assisted degradation of rosmarinic acid and evaluation of structures and anti-adipogenic properties. **Food Chemistry**, v. 258, p. 181-188, 2018.

JIANG, B.; MANTRI, N.; HU, Y.; LU, J.; JIANG, W.; LU, H. Evaluation of bioactive compounds of black mulberry juice after thermal, microwave, ultrasonic processing, and storage at different temperatures. **Food Science and Technology International**, v. 21, n. 5, p. 392-399, 2015.

JIANG, G. H.; LEE, K. C.; AMEER, K.; EUN, J. B. Comparison of freeze-drying and hot air-drying on Asian pear (*Pyrus pyrifolia* Nakai 'Niiitaka') powder: changes in bioaccessibility, antioxidant activity, and bioactive and volatile compounds. **Journal of Food Science and Technology**, v. 56, n. 6, p. 2836-2844, 2019.

KAWASAKI, H.; SHIMANOUCI, T.; KIMURA, Y. Recent development of optimization of lyophilization process. **Journal of Chemistry**, v. 2019, 2019.

KHATTAK, K. F.; SIMPSON, T. J. Effect of gamma irradiation on the extraction yield, total phenolic content and free radical-scavenging activity of *Nigella staiva* seed. **Food Chemistry**, v. 110, n. 4, p. 967-972, 2008.

KHOURYIEH, H. A. Novel and emerging technologies used by the US food processing industry. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 67, p. 102559, 2021.

KIM, G. R.; RAMAKRISHNAN, S. R.; AMEER, K.; CHUNG, N.; KIM, Y. R.; KWON, J. H. Irradiation effects on chemical and functional qualities of ready-to-eat *Saengshik*, a cereal health food. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 171, p. 108692, 2020.

KOCA, N.; KARADENIZ, F. Changes of bioactive compounds and anti-oxidant activity during cold storage of carrots. **International journal of food science & technology**, v. 43, n. 11, 2019-2025, 2008.

KOIKE, A.; BARREIRA, J. C. M.; BARROS, L.; SANTOS-BUELGA, C.; VILLAVICENCIO, A. L. C. H.; FERREIRA, I. C. F. R. Edible flowers of *Viola tricolor* L. as a new functional food: Antioxidant activity, individual phenolics and effects of gamma and electronbeam irradiation. **Food Chemistry**. v. 179, p. 6-14, 2015.

KYRIAKOUDI, A.; SPANIDI, E.; MOURTZINOS, I.; GARDIKIS, K. Innovative Delivery Systems Loaded with Plant Bioactive Ingredients: Formulation Approaches and Applications. **Plants**, v. 10, n. 6, p. 1238, 2021.

LEITE, P. B.; MACHADO, W. M.; GUIMARÃES, A. G.; CARVALHO, G. B. M. D.; TEIXEIRA MAGALHÃES-GUEDES, K.; IZABEL DRUZIAN, J. Cocoa's residual honey: physicochemical characterization and potential as a fermentative substrate by *Saccharomyces cerevisiae* AWRI726. **The Scientific World Journal**, v. 2019, 2019.

LIGUORI, I.; RUSSO, G.; CURCIO, F.; BULLI, G.; ARAN, L.; DELLA-MORTE, D.; GARGIULO, G.; TESTA, G.; CACCIATORE, F.; BONADUCE, D.; ABETE, P. Oxidative stress, aging, and diseases. **Clinical interventions in aging**, v. 13, 7p. 57, 2018.

MACHADO, G.; FURINI P. B.; DALLAZEM B. C. Nutracêuticos: aspectos legais e científicos. **Revista Eletrônica de Farmácia**, 2019. Disponível em:< <https://revistas.ufg.br/REF/article/view/47950>>. Acesso em 01 de setembro de 2019.

MACHADO, T. F.; MONTEIRO, E. R.; TIECHER, A. Estabilidade química, físico-química e antioxidante de polpa de *Physalis* pasteurizada e não pasteurizada sob congelamento. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019.

MAGALHÃES, G. M. S. Desenvolvimento de bebida gaseificada à base de “mel de cacau”(*Theobroma cacao*). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 82021-82036, 2021.

MARIATTI, F.; GUNJEVIĆ, V.; BOFFA, L.; CRAVOTTO, G. Process intensification technologies for the recovery of valuable compounds from cocoa by-products. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, p. 102601, 2021.

MARTINEZ, S. J.; SIMÃO, J. B. P.; PYLRO, V. S.; SCHWAN, R. F. The Altitude of Coffee Cultivation Causes Shifts in the Microbial Community Assembly and Biochemical Compounds in Natural Induced Anaerobic Fermentations. **Frontiers in Microbiology**, v. 12, p. 1183, 2021.

MARTINS, Q. S. A.; DE BARROS, H. E. A.; DA CUNHA, S. L.; GUALBERTO, S. A.; DA SILVA, M. V. Resíduos da indústria processadora de polpas de frutas: capacidade antioxidante e fatores antinutricionais. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 2, p. 591-608, 2019.

MELO NETO, B. A. D.; BONOMO, R. C. F.; FONTAN, R. D. C. I.; FERREIRA, A. C. R.; GONÇALVES, G. R. F.; MELLO, D. L. N. Caracterização físico-química e propriedades termofísicas do mel de cacau. **Revista Geintec-Gestao Inovacao e Tecnologias** , v. 6, n. 1, p. 2944-2953, 2016.

MELO NETO, B. A. D.; CARVALHO, E. A.; PONTES, K. V.; BARRETTO, W. D. S.; SACRAMENTO, C. K. D. Chemical, physico-chemical and sensory characterization of mixed açai (*Euterpe oleracea*) and cocoa´s honey (*Theobroma cacao*) jellies. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, p. 587-593, 2013.

MIRANDA, A. F.; KUBOTA, T. A.; POLIZELI, A. G.; DA CRUZ, L. F.; SILVA, R. C.; DOS SANTOS, L. D. S. N. Geleia de pitaya enriquecida com exsudado da fermentação do cacau. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 64305-64312, 2020.

MOOSAVI, K. S.; HOSSEINI, S.; DEHGHAN, G.; JAHANBAN-ESFAHLAN, A. The effect of gamma irradiation on phytochemical content and antioxidant activity of stored and none stored almond (*Amygdalus communis* L.) hull. **Pharmaceutical sciences**, v. 20, n. 3, p. 102-106, 2014.

MORAIS, J. A. D.; ROCHA, R. B.; ALVES, E. A.; ESPINDULA, M. C.; TEIXEIRA, A. L.; SOUZA, C. A. D. Beverage quality of *Coffea canephora* genotypes in the western Amazon, Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 43, 2021.

MOURA, S. C. S. R. D.; HUBINGER, M. D.; VITALI, A. D. A. Predição da atividade de água e relação entre a atividade de água e a depressão do ponto de congelamento de sucos de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 18, n. 4, p. 456-461, 1998.

MOUSSAID, M.; CAILLET, S.; NKETSIA-TABIRI, J.; BOUBEKRI, C.; LACROIX, M. Phenolic compounds and the colour of oranges subjected to a combination treatment of waxing and irradiation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84. n. 13, p. 1625-1631, 2004.

NERI, L.; FAIETA, M.; DI MATTIA, C.; SACCHETTI, G.; MASTROCOLA, D.; PITTIA, P. Antioxidant Activity in Frozen Plant Foods: Effect of Cryoprotectants, Freezing Process and Frozen Storage. **Foods**, v. 9, n. 12, p. 1886, 2020.

NUNES, T. P.; MARTINS, C. G.; BEHRENS, J. H.; SOUZA, K. L.; GENOVESE, M. I.; DESTRO, M. T.; LANDGRAF, M. Radioresistance of Salmonella species and *Listeria monocytogenes* on minimally processed arugula (*Eruca sativa* Mill.): effect of irradiation on flavonoid content and acceptability of irradiated produce. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 56, n. 4, p. 1264-1268, 2008.

N'ZI, J.C.; KAHIA, J.; DIBY, L., KOUAMÉ, C. Compatibilidade de dez clones elite de cacau (*Theobroma cacao* L.). **Horticulturae** , v. 3, n. 3, p. 45, 2017.

ORTIZ-SANCHEZ, M.; SOLARTE-TORO, J. C.; ORREGO-ALZATE, C. E.; ACOSTA-MEDINA, C. D.; CARDONA-ALZATE, C. A. Integral use of orange peel waste

through the biorefinery concept: an experimental, technical, energy, and economic assessment. **Biomass conversion and Biorefinery**, v. 11, n. 2, p. 645-659, 2021.

PAINI, J.; BENEDETTI, V.; AIL, S. S.; CASTALDI, M. J.; BARATIERI, M.; PATUZZI, F. Valorization of Wastes from the Food Production Industry: A Review Towards an Integrated Agri-Food Processing Biorefinery. **Waste and Biomass Valorization**, p. 1-20, 2021.

PAULO, B. B.; ALVIM, I. D.; REINECCIUS, G.; PRATA, A. S. Barrier properties of spray-dried emulsions containing flavorings or unsaturated triglycerides. **LWT**, v. 142, p. 111040, 2021.

PENHA, E. M.; DA MATTA, V. M. Características físico-químicas e microbiológicas da polpa de cacau. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, n. 11, p. 1945-1949, 1998.

PEREIRA, E.; ANTONIO, A. L.; BARREIRA, J. C. M.; BARROS, L.; BENTO, A.; FERREIRA, I. C. F. R. Gamma irradiation as a practical alternative to preserve the chemical and bioactive wholesomeness of widely used aromatic plants. **Food Research International**, v. 67, p. 338-348, 2015.

PÉREZ-TEJEDA, G.; VERGARA-BALDERAS, F. T.; LÓPEZ-MALO, A.; ROJAS-LAGUNA, R.; ABRAHAM-JUÁREZ, M. D. R.; SOSA-MORALES, M. E. Pasteurization treatments for tomato puree using conventional or microwave processes. **Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy**, v. 50, n. 1, p. 35-42, 2016.

PINHEIRO, I. R.; SILVA, R. O. Reaproveitamento dos Resíduos Sólidos da Indústria Cacaueira. **Blucher Chemical Engineer Proceedigns**, v. 4, n. 1, p. 95-99, 2017.

PLAZA, L.; CRESPO, I.; DE PASCUAL-TERESA, S.; DE ANCOS, B.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; MUÑOZ, M.; CANO, M. P. Impact of minimal processing on orange bioactive compounds during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 124, n. 2, p. 646-651, 2011.

PRIETO, P.; PINEDA, M.; AGUILAR, M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. **Analytical biochemistry**, v. 269, n. 2, p. 337-341, 1999.

QUIROZ-GONZÁLEZ, B.; YBARRA-MONCADA, M. C.; RODRIGUEZ-MARTINEZ, V. S.; WELTI-CHANES, J. S.; GARCÍA-MATEOS, M. R.; CORRALES-GARCÍA, J.; MC YBARRA-MONCADA, M. C.; LEYVA-RUELAS, G.; TORRES, J. A. Refrigerated storage of high hydrostatic pressure treated pitaya (*Stenocereus pruinosus*) juice. **Revista Mexicana De Ingeniería Química**, v. 19, n. 1, p. 387-399, 2020.

RÁBAGO-PANDURO, L. M.; MARTÍN-BELLOSO, O.; WELTI-CHANES, J.; MORALES-DE LA PEÑA, M. Changes in bioactive compounds content and antioxidant capacity of pecan nuts [*Carya illinoensis* (Wangenh. K. Koch)] during storage. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 19, n. 3, p. 1439-1452, 2020.

RABELLO, A. A.; COURA, J. G. ; GUIRLANDA, C. P. **Desidratador de Alimento e Material Biológico por Energia Eletromagnética**, Brasil. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: PI2208045001115, Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. 2010. Depósito: 11 set. 2008. Concessão: 27 jul. 2010. Disponível em: <https://patents.google.com/patent/BRPI0804856A2/>. Acesso em: 12 ago. 2021.

RAJPUT, S.; SINGH, S. P. Connecting circular economy and industry 4.0. **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98-113, 2019.

RIZOU, M.; GALANAKIS, I. M.; ALDAWOUD, T. M.; GALANAKIS, C. M. Safety of foods, food supply chain and environment within the COVID-19 pandemic. **Trends in food science & technology**, v. 102, p. 293-299, 2020.

ROCKETT, F.; SCHMIDT, H.; RODRIGUES, E.; FLÔRES, S.; RIOS, A. Application of Refrigeration and Packing can Extend Butiá Fruit Shelf Life Refrigeration and Packing to Extend Butiá Shelf Life. **Food Bioscience**, p. 101162, 2021.

RODRIGUES, F. T.; KOIKE, A. C. R.; DA SILVA, P. G.; NEGRÃO, B. G.; DE ALENCAR, S. M.; MANCINI FILHO, J.; VILLAVICENCIO, A. L. C. Effects of electron beam irradiation on the bioactive components of goji-berry. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 179, p. 109144, 2021.

RODRÍGUEZ-ROQUE, M. J.; ANCOS, B.; SÁNCHEZ-MORENO, C.; CANO, M. P.; ELEZ-MARTÍNEZ, P.; MARTÍN-BELLOSO, O. Impact of food matrix and processing on the in vitro bioaccessibility of vitamin C, phenolic compounds, and hydrophilic antioxidant activity from fruit juice-based beverages. **Journal of Functional Foods**, v. 14, p. 33-43, 2015.

ROJI, W.; NAGMA, M.; YOGESH, G.; SUKHMANI, G.; VIKAS, K.; ANIL, P. Jackfruit seed: an accompaniment to functional foods. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 22, 2019.

ROSSIN, D.; BARBOSA-PEREIRA, L.; IAIA, N.; SOTTERO, B.; DANZERO, A. C.; POLI, G.; ZEPPA, G.; BIASI, F. Protective effect of cocoa bean shell against intestinal damage: an example of byproduct valorization. **Antioxidants**, v. 10, n. 2, p. 280, 2021.

ROWAN, N. J.; GALANAKIS, C. M. Unlocking challenges and opportunities presented by COVID-19 pandemic for cross-cutting disruption in agri-food and green deal innovations: Quo Vadis?. **Science of the Total Environment**, p. 141362, 2020.

SAHRAOUI, N.; VIAN, M. A.; EL MAATAOUI, M.; BOUTEKEDJIRET, C.; CHEMAT, F. Valorization of citrus by-products using Microwave Steam Distillation (MSD). **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 12, p. 163–170, 2011.

SALEHI, F. Rheological and physicochemical properties of vegetable juices and concentrates: A review. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, n.4, e15326, 2021.

SALES, A.; WAUGHON, T. G. M. Influência do processamento no teor de compostos bioativos em frutos de murici e cajá. **Agrarian**, v. 6, n. 19, p. 7-15, 2013.

SATTAR, S.; AHMAD, T.; NISA, M. U.; IMRAN, M.; HOLMES, M.; MAYCOCK, J.; NADEEN, M.; KHAN, M. K. Microwave processing impact on physicochemical and bioactive attributes of optimized peach functional beverage. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, n. 7, e13952, 2019.

SIDDIKI, S. Y. A.; MOFIJUR, M.; KUMAR, P. S.; AHMED, S. F.; INAYAT, A.; KUSUMO, F.; BADRUDDIN, I. A.; YUNUS KHAN, T. M.; NGHIEM, L. D.; ONG, H. C.; MAHLIA, T. M. I. Microalgae biomass as a sustainable source for biofuel, biochemical and biobased value-added products: An integrated biorefinery concept. **Fuel**, v. 307, p. 121782, 2022.

SILVA, E. N. D.; RAMOS, D. D. C.; MENEZES, L. M.; SOUZA, A. O. D.; LANNES, S. S. Valor nutricional e capacidade antioxidante do "mel de cacau" (*Theobroma cacao* L.). **Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 755-759, 2014.

SILVA-ESPINOZA, M. A.; DEL MAR CAMACHO, M.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Effect of storage temperature on the crispness, colour and bioactive compounds of an orange snack obtained by freeze-drying. **British Food Journal**, 2021

SILVA, H. G.; DE SOUZA, P. G.; PINHEIRO, C. L. Estudo da reutilização de leveduras imobilizadas sobre a qualidade da cerveja Cream Ale. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 43083-43095, 2021.

SILVA, M. L. T.; BRINQUES, G. B.; GURAK, P. D. Utilização de farinha de subproduto de brotos para elaboração de massa alimentícia fresca. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 22, 2019

SHINWARI, K. J.; RAO, P. S. Stability of bioactive compounds in fruit jam and jelly during processing and storage: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 75, p. 181-193, 2018.

SHRIVASTAVA, A.; TRIPATHI, A. D.; PAUL, V.; RAI, D. C. (2021). Optimization of spray drying parameters for custard apple (*Annona squamosa* L.) pulp powder development using response surface methodology (RSM) with improved physicochemical attributes and phytonutrients. **LWT**, v. 151, p. 112091.

SONG, H. P.; KIM, D. H.; JO, C.; LEE, C. H.; KIM, K. S.; BYUN, M. W. Effect of gamma irradiation on the microbiological quality and antioxidant activity of fresh vegetable juice. **Food Microbiology**, v. 23, n. 4, p. 372-378, 2006.

SOSA, J. M. R.; MANAYAY, E. D. R. **Aprovechamiento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao*) en la formulación de una bebida no alcohólica**. Facultad de Ingeniería Química e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional "Pedro Ruiz Gallo", Perú. 2018.

SOTO, V. C.; GONZÁLEZ, R. E.; GALMARINI, C. R. Bioactive compounds in vegetables, Is there consistency in the published information? A systematic review. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, p. 1-18, 2021.

SUBBIAH, B.; BLANK, U. K.; MORISON, K. R. A review, analysis and extension of water activity data of sugars and model honey solutions. **Food chemistry**, v. 326, p. 126981, 2020.

SZADZIŃSKA, J.; MIERZWA, D. The influence of hybrid drying (microwave-convective) on drying kinetics and quality of white mushrooms. **Chemical Engineering and Processing-Process Intensification**, p. 108532, 2021.

SYAMILA, M.; GEDI, M. A.; BRIARS, R.; AYED, C.; GRAY, D. A. Effect of temperature, oxygen and light on the degradation of β -carotene, lutein and α -tocopherol in spray-dried spinach juice powder during storage. **Food chemistry**, v. 284, p. 188-197, 2019.

TAHERI, S.; ABDULLAH, T. L.; KARIMI, E.; OSKOUÉIAN, E.; EBRAHIMI, M. Antioxidant capacities and total phenolic contents enhancement with acute gamma irradiation in *Curcuma alismatifolia* (Zingiberaceae) leaves. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 15, n. 7, p. 13077-13090, 2014.

TANG, J.; HONG, Y. K.; INANOGLU, S.; LIU, F. Microwave pasteurization for ready-to-eat meals. **Current Opinion in Food Science**, v. 23, p. 133-141, 2018.

TAVONE, L. A. D. S.; NASCIMENTO, K. M.; FACHINA, Y. J.; MADRONA, G. S.; BERGAMASCO, R. D. C.; SCAPIM, M. R. D. S. Mathematical modeling and effect of thin-layer drying and lyophilization on antioxidant compounds from ultrasonic-assisted extracted *Muntingia calabura* peels. **Acta Scientiarum. Agronomy**, p. 43, 2021.

TEMBO, D. T.; HOLMES, M. J.; MARSHALL, L. J. Effect of thermal treatment and storage on bioactive compounds, organic acids and antioxidant activity of baobab fruit (*Adansonia digitata*) pulp from Malawi. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 58, p. 40-51, 2017.

TEZOTTO-ULIANA, J. V.; DA SILVA, P. P.; KLUGE, R. A.; SPOTO, M. H. F. Radiação Gama em Alimentos de Origem Vegetal. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 1, p. 267-277, 2015.

TRIVEDI, D.; DIKSHIT, A. K. 7 Irradiation Technology. **Food Processing: Advances in Non-Thermal Technologies**, p. 165, 2021.

TRENTIN, L. S.; RANIERO, G. Z.; VASQUES, C. T.; BERWIG, K. P.; DA SILVA ALVES, E.; MENDES, M. P.; MONTEIRO, A. R. G. Produção de maltes especiais de trigo em escala piloto, produção e caracterização de cerveja. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, e3110312879 -e3110312879, 2021.

TSEGAYE, B.; JAISWAL, S.; JAISWAL, A. K. Food Waste Biorefinery: Pathway towards Circular Bioeconomy. **Foods**, v. 10, n. 6, p. 1174, 2021.

UDDIN, M. S.; HAWLADER, M. N. A.; DING, L.; MUJUMDAR, A. S. Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. **Journal of food engineering**, v. 51, n. 1, 21-26, 2002.

UNEP - THE UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **How food waste is trashing the planet**. 2021. Disponível em: <https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/como-o-desperdicio-de-alimentos-esta-destruindo-o-planeta>. Acesso em: 10 dez. 2021.

VANAMALA, J.; COBB, G.; TURNER, N. D.; LUPTON, J. R.; YOO, K. S.; PIKE, L. M.; PATIL, B. S. Bioactive compounds of grapefruit (*Citrus paradisi* Cv. Rio Red) respond differently to postharvest irradiation, storage, and freeze drying. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 10, p. 3980-3985, 2005.

VÁSQUEZ, Z. S.; DE CARVALHO NETO, D. P.; PEREIRA, G. V. M.; VANDENBERGHE, L. P. S.; DE OLIVEIRA, P. Z.; TIBURCIO, P. B.; ROGEZ, H. L. G.; GÓES NETO, A.; SOCCOL, C. R. Biotechnological approaches for cocoa waste management: A review. **Waste Management**, v. 90, p. 72-83, 2019.

VERMA, A., & SINGH, S. V. (2015). Spray drying of fruit and vegetable juices—a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, V. 55, n.5, p. 701-719.

VIEIRA, L. M.; SOUSA, M. S. B.; MANCINI-FILHO, J.; LIMA, A. D. Fenólicos totais e capacidade antioxidante in vitro de polpas de frutos tropicais. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, p. 888-897, 2011.

VILLAVICENCIO, A. L.; HELENO, S. A.; CALHELHA, R. C.; SANTOS-BUELGA, C.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. The influence of electron beam radiation in the nutritional value, chemical composition and bioactivities of edible flowers of *Bauhinia variegata* L. var. *candida alba* Buch.-Ham from Brazil. **Food chemistry**, v. 241, p.163-170, 2018..

VOIGT, J.; TEXTORIS-TAUBE, K.; WÖSTEMEYER, J. pH-Dependency of the proteolytic formation of cocoa-and nutty-specific aroma precursors. **Food Chemistry**, v. 255, p. 209-215, 2018.

XU, Y.; XIAO, Y.; LAGNIKA, C.; SONG, J.; LI, D.; LIU, C.; JIANG, N.; ZHANG, M.; DUAN, X. A comparative study of drying methods on physical characteristics, nutritional properties and antioxidant capacity of broccoli. **Drying Technology**, v. 38, n. 10, p. 1378-1388, 2020.

WARD, K. R.; MATEJTSCHUK, P. The principles of freeze-drying and application of analytical technologies. **In Cryopreservation and Freeze-Drying Protocols**, Humana, New York, NY. p. 99-127, 2021.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy.** Report of joint FAO/IAEA/WHO Study Group. Geneva, p. 197, 1999.

CAPITULO 2

Obtenção de mel de cacau em pó: Avaliação tecnológica de carreadores

RESUMO

O mel de cacau, é um suco derivado da quebra da polpa que recobre a amêndoa, possui pectina, ácidos orgânicos, minerais, compostos fenólicos com capacidade antioxidante, alto conteúdo de umidade e rico em açúcares redutores como frutose e glicose. Devido sua composição química e condições de extração o mel de cacau tem uma vida de prateleira reduzida, sendo utilizado artesanalmente nas fazendas produtoras ou comercializado congelado que onera os custos devido a energia gasta na cadeia do frio e dificulta sua utilização devido a necessidade de descongelamento evitando seu consumo instantâneo. Entretanto este subproduto poderia alcançar maior valorização com aplicação tecnológica abrindo novas possibilidades para sua utilização pela indústria de alimentos. A tecnologia de *spray drying* é uma estratégia tecnológica que possibilita a secagem de produtos rico em açúcar como suco de frutas e mel em larga escala, com extensão da vida de prateleira por meio da remoção quase instantânea da água, com danos térmicos inferiores aos demais processos. Para minimizar os efeitos da T g no mel de cacau foi realizado estudo quanto a eficiência de auxiliares de secagem (carreadores) adicionados ao mel de cacau nas mesmas condições de temperatura e vazão. Dados físico como umidade, higroscopicidade, dimensões de partículas e rendimento foram caracterizados. A adição de maltodextrina 20% e isolado proteico do soro de leite (WPI) 1% obteve melhor rendimento de pó no resultado final, porém a formulação com proporção de maltodextrina e WPI na proporção 29:1 respectivamente resultou em menor perda de compostos fenólicos durante o processo. Os resultados revelaram que a proteína isolada do soro de leite (WPI) pode ser uma alternativa promissora como carreador, quando adicionada a outros produtos como a maldodextrina, para obtenção do mel de cacau em pó. Os demais carreadores

O aumento da porcentagem de WPI na formulação aumentou o rendimento e diminuiu a higroscopicidade do produto final além de agregar proteínas

umentando seu valor nutricional. Por outro lado, a formulação utilizando maltodextrina 29% + WPI 1% apresentou maior retenção dos compostos fenólicos em relação às demais formulações. A adição de methocel e a redução de WPI na formulação junto a maltodextrina não resultou rendimento final significativo além de menor retenção dos compostos fenólicos. A utilização de WPI como auxiliar de secagem na produção de mel de cacau em pó demonstrou ser promissor, valorizando e aumentando as possibilidades da utilização tecnológica deste subproduto no mercado de bebidas, confeitarias e alimentos nutracêuticos.

Palavras-chave: Frutas. Mel de cacau. Açúcares redutores. *Spray dryer*.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é conhecido por sua diversidade em frutas tropicais. Dentre elas o cacau (*Theobroma cacao*) tem lugar de destaque devido sua utilização na produção de ingredientes (manteiga de cacau, liquor, cacau em pó), que são a base para a formulação de produtos em vários segmentos como confeitarias, laticínios, bebidas alcóolicas, além dos setores farmacêuticos, cosméticos e perfumarias (OLIVEIRA MORAES; MACHADO, 2021; GAVRILOVA, 2021).

O beneficiamento do cacau se inicia no pré-processamento com a colheita do fruto, remoção da polpa e sementes, fermentação, secagem, torra e moagem das amêndoas para que estas estejam processadas na obtenção da manteiga de cacau, liquor e cacau em pó (ANDRADE *et al.*, 2021). A cadeia produtiva do cacau gera diversos tipos de resíduos como a casca do fruto, a polpa, os resíduos da torra e moagem das sementes que podem ser aproveitados, reduzindo o impacto ambiental e agregando mais valor a esse agronegócio (OSÓRIO; FLÓREZ-LÓPEZ; GRANDE-TOVAR, 2021).

A polpa de cacau pode ser aproveitada comercialmente na forma de polpa congelada e sucos e a ampliação de estudos sobre sua composição demonstra que ela é rica em nutrientes importantes (ácido ascórbico, açúcares, antioxidantes, minerais e pectina) tornando esta polpa uma boa opção de alimento saudável. Outra forma mais recente de se utilizar comercialmente a polpa de cacau

é sua prensagem para obtenção de um subproduto conhecido como mel de cacau (INDIARTO *et al.*, 2021; REGES *et al.*, 2021).

O mel de cacau sempre foi consumido informalmente nas fazendas de cultivo do fruto e mais recentemente o potencial comercial desse produto está se revelando, principalmente movimentando a economia circular (GUAYZA CARPIO; VALVERDE MACÍAS, 2021). O produto vem sendo disponibilizado ao consumidor em alguns países principalmente das Américas Central e do Sul na forma de suco congelado, bebidas alcoólicas, melados, vinagre e geleias muitas vezes de forma artesanal (RODRÍGUEZ ZAMORA; ZAMBRANO FLORES, 2019).

O mel de cacau é rico em açúcares o que o torna muito susceptível à fermentação como ocorre com outros sucos de frutas de composição química similar, comprometendo a sua vida de prateleira (DONATTI *et al.*, 2021; SANTOS; RÊGO; SILVA, 2013). Além disso, podem ocorrer perdas na qualidade nutricional, redução de compostos bioativos e alterações organolépticas significativas quando submetido a técnicas convencionais de aquecimento por determinado tempo, levando a alterações principalmente da cor característica, (reação de Maillard e oxidação do ácido ascórbico, por exemplo). Estes problemas limitam a aplicação de processos convencionais como pasteurização ou esterilização para viabilizar a comercialização do mel de cacau líquido (GERALDI *et al.*, 2021; JIMÉNEZ-SÁNCHEZ *et al.*, 2017; SCHUINA *et al.*, 2021).

Dentre diversas estratégias para aumentar a estabilidade de produtos alimentícios ricos em açúcar, como sucos de frutas e mel, bem como para aumentar as possibilidades de aplicação desses produtos, pode ser utilizada a secagem por atomização (ou *spray drying*). Esse processo permite a remoção quase que instantânea da água do extrato e, mesmo sendo um processamento a alta temperatura, os danos térmicos são, na maioria dos casos, muito reduzidos. Além disso, a tecnologia de *spray drying* já é bem estabelecida industrialmente, viabilizando a produção em larga escala de ingredientes à base de frutas, além de estabilizar os compostos bioativos (CAO *et al.*, 2021; SHRIVASTAVA *et al.*, 2021).

Apesar das vantagens do processo de *spray drying*, a secagem de produtos de frutas apresenta um grande desafio, pois o processamento direto do material nativo gera um produto em pó altamente higroscópico que apresenta

stickiness (pegajosidade) rapidamente (KAMIŃSKA-DWÓRZNICKA; KOT; SAMBORSKA, 2021).

Materiais com alto teor de açúcar proporcionam alta higroscopicidade, alta solubilidade, baixa temperatura de ponto de fusão e baixa temperatura de transição vítrea (T_g) resultando em impregnação nas paredes da câmara de secagem além de baixo rendimento de secagem (VERMA; SINGH, 2015). Para contornar esse problema da secagem de extratos de frutas por *spray drying*, são utilizados carreadores para reduzir o impacto dos constituintes naturais dos derivados de frutas no processo de secagem, aumentar a temperatura de transição vítrea e garantir um produto em pó de fluxo livre (*freeflow*) e estável (PUI *et al.*, 2020). Além disso, carreadores também são utilizadas como agentes encapsulantes, sendo capazes de preservar propriedades antioxidantes, valor nutricional e cor, e reter aromas e sabores de diferentes produtos obtidos por *spray drying* (BARBOSA; TEIXEIRA, 2017).

As maltodextrinas são produtos resultantes da hidrólise parcial do amido, com propriedades funcionais e têm sido largamente usadas em muitos processos de alimentos e formulações devido sua doçura e solubilidade em água, onde é utilizada como modificador de textura, gelificante, substituto de gordura, intensificadores de volume, crioprotetores e para prolongar a vida útil do produto, principalmente como carreadores e encapsulantes (IKEDA; FINZER, 2022). Como carreadores comumente utilizados na secagem de alimentos por *spray drying* e seu custo é acessível. Carreadores à base de celulose e proteínas como derivadas do soro de leite também vem sendo estudados na secagem de extratos de frutas, com resultados promissores (WAN JIANG; ZHOU, 2013). O isolado proteico de soro de leite (WPI) é usualmente utilizado como de material de parede em processos de secagem por *spray drying* de ingredientes bioativos WANG; FU; CHEN, 2022).

Sob a ótica descrita nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi explorar alguns tipos de carreadores na secagem de mel de cacau por *spray drying*, visando avaliar a melhor composição para obtenção do mel de cacau em pó.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Materiais

Mel de cacau comercial, gentilmente cedido por um produtor (Ilhéus, Bahia, Brasil), Maltodextrina (MD, Mor-Rex 1910, grau de dextrinização 10, Ingredion Mogi Guaçu, São Paulo, Brasil), Methocel (MC, E19, Hidroxipropil metil celulose, Food Grade, Dow, Santo Amaro, São Paulo, Brasil), Isolado Proteico de Soro de leite (WPI, Fonterra, Taranaki, Nova Zelândia). Reagentes utilizados na caracterização das amostras foram de grau analítico.

2.2 Métodos

Para a preparação das formulações contendo mel de cacau e excipientes, os ingredientes foram pesados individualmente seguindo as formulações descritas na Tabela 1. Os ingredientes em pó foram homogeneizados ao mel de cacau com o auxílio de um misturador manual (Pro Mix, Philips Walita, Brasil) por 30 segundos. A preparação foi mantida sob agitação magnética por 15 minutos para hidratação dos polímeros.

Tabela 1 - Formulações de mel de cacau e excipientes para secagem

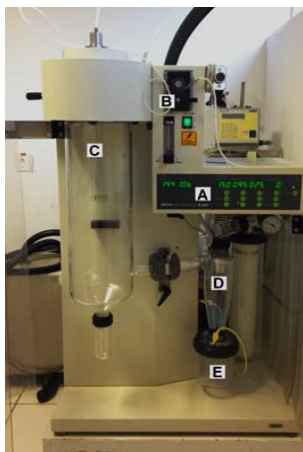
Amostras	Ingredientes das formulações (g)			
	Mel de cacau *	Maltodextrina **	Methocel **	Isolado proteico de soro de leite (WPI) **
Maltodextrina 30%	14,7	6,3	0	0
Maltodextrina 15% + Methocel 15%	14,7	3,15	3,15	0
Maltodextrina 29% + WPI 1%	14,7	6,09	0	0,21
Maltodextrina 20% + WPI 10%	14,7	4,2	0	2,1
Maltodextrina 15% + Methocel 10% + WPI 5%	14,7	3,15	2,1	1,05

* 100 g de mel de cacau líquido correspondem a 14,7 g de sólidos secos.

** Ingredientes expressos em base seca.

As formulações foram desidratadas em um mini *spray dryer* (B290, Buchi, Suíça) configurado com um bico atomizador duplo fluido com orifício de 0,7 mm. A pressão de pulverização foi mantida em 0,75 bar e o fluxo de ar em 600 L/min (FADINI *et al* 2018). A temperatura de entrada do secador foi de 180 °C e a saída foi mantida 85 ± 3 °C através do controle da vazão de alimentação. Imagem do equipamento Mini Spray dryer B290, bem como a descrição de suas partes, são apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Mini Spray dryer B290



Fonte: Instituto de Tecnologia de Alimentos de Campinas (ITAL)

A – Painel de controle; B – Sistema de alimentação (bomba peristáltica e mangueira de alimentação); C – Câmara de secagem; D – Ciclone; E – Coletor de amostra seca.

Para cada formulação foram realizados três processamentos e as amostras recolhidas, coletor e ciclone do equipamento foram armazenadas em embalagens plásticas com tampa e mantidas em dessecador até a caracterização. Os processamentos foram avaliados pela quantidade de amostra recolhida no coletor e ciclone do equipamento ao final de cada processo em relação ao total de sólidos da formulação inicial (avaliação objetiva) e pela aderência ou não do pó na câmara de secagem (avaliação subjetiva). As amostras em pó foram caracterizadas quanto as análises descritas a seguir:

2.2.1 Determinação do teor de umidade

A umidade das amostras foi determinada por método gravimétrico segundo metodologia da AOAC (2010). Aproximadamente 1 g das amostras secas em triplicata, foi depositado em cápsula de alumínio previamente pesada. Após secagem em estufa a 105 °C, *overnight* efetuou-se o cálculo de cada determinação conforme a Equação 1.

Equação. 1

$$\text{Umidade (\%)} = \frac{\text{Massa de amostra total} - \text{Massa de amostra seca}}{\text{Massa de amostra total}} \times 100$$

2.2.2 Determinação de tamanho de partículas por difração a laser

O diâmetro médio e a distribuição de tamanho das partículas das amostras foram determinados por difração a laser (LA-950 V2, HORIBA, EUA). As amostras em pó foram previamente dispersas em de etanol absoluto e submetidas a ultrassom por 15 segundos para garantir a dispersão das partículas. As preparações foram adicionadas ao módulo líquida do equipamento, contendo etanol absoluto como meio de dispersão, até que a concentração atingisse os níveis de transmitância adequados para leitura (ALVIM *et al.*, 2016). A leitura das preparações realizada 6 vezes.

2.2.3 Determinação de atividade de água (aW)

A atividade de água (aW) das amostras foi determinada à temperatura de 25,0 ± 0,5 °C, através do higrômetro Aqualab modelo 4TEV (Decagon, Pullman, EUA); em triplicata (ALVIM *et al.*, 2016).

2.2.4 *Determinação da higroscopicidade*

As amostras foram analisadas quanto à higroscopicidade segundo adaptação da metodologia descrita por Cai & Corke (2000). Pesou-se 1 g de cada amostra, em triplicata, e estas foram armazenadas a 25 °C e 75,3% UR (solução saturada de NaCl). Após 7 dias, o ganho de peso devido à adsorção de umidade foi registrado, expressando-o na forma “g de umidade adsorvida / 100 g de amostra”.

2.2.5 *Morfologia*

O aspecto das amostras foi observado por microscopia ótica. As amostras em pó foram dispersas em óleo mineral e observadas utilizando-se um microscópio ótico (BX41, Olympus, Japão) com captação de imagens por uma câmera digital adaptada ao microscópio (Q-Color3, Olympus, Japão) segundo Alvim *et al* (2016). Além das amostras em pó obtidas nesse estudo, os excipientes utilizados e o mel de cacau foram caracterizados quanto ao teor de umidade por essa metodologia.

2.2.6 *Determinação do teor de compostos fenólicos totais*

Os compostos fenólicos totais foram determinados por método colorimétrico em triplicata segundo Folin-Ciocalteu (KIRALP; TOPPARE, 2006) com resultado expresso em equivalente de ácido gálico (mg) por 100 g de amostra.

2.2.7 *Análise estatística*

Os experimentos foram realizados em triplicata e os resultados das análises foram tratados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA), seguido pela comparação das médias pelo teste t do Tukey usando a versão do Minitab Statistical Software 20 com nível de confiança de 95%. A análise de cada

amostra foi feita em três repetições e os resultados foram expressos como Média \pm Desvio padrão.

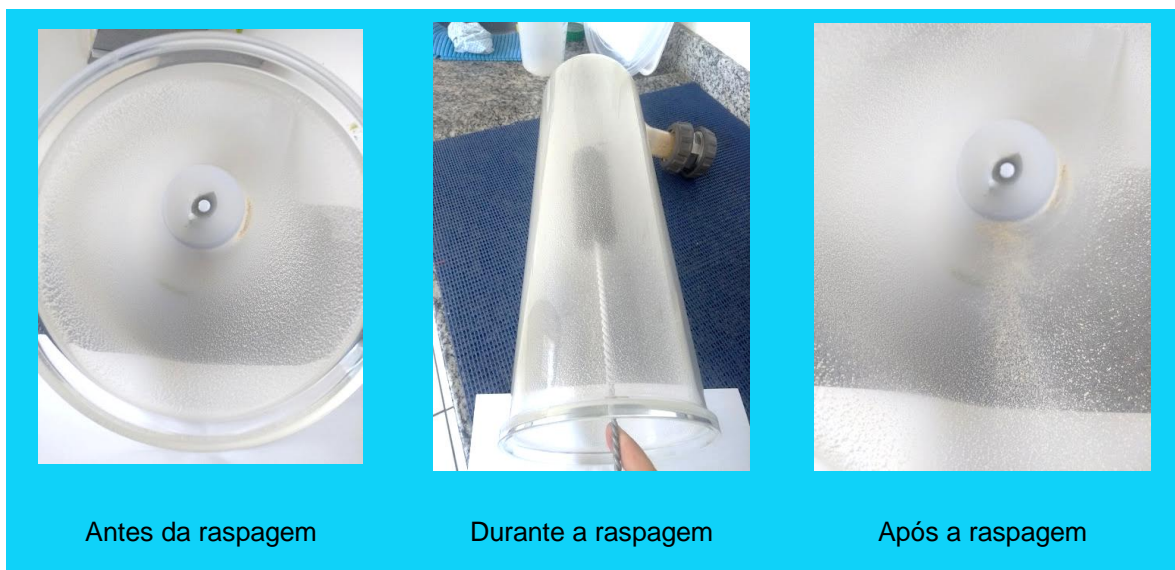
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Processo de secagem

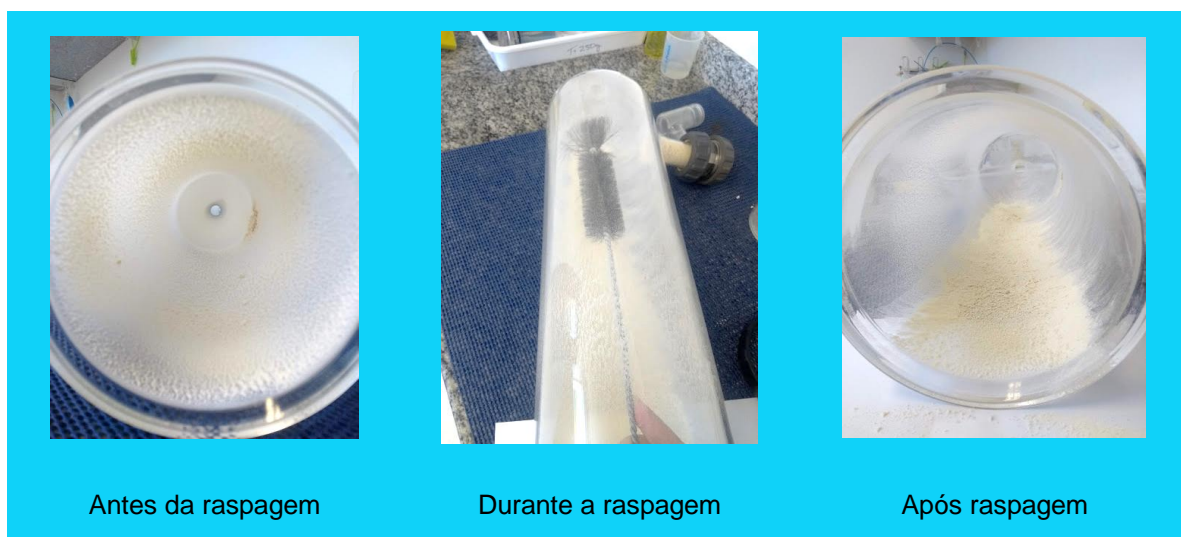
Aspecto das amostras de mel de cacau seco adicionado de carreador recuperadas por raspagem na câmara de secagem do mini *spray dryer* conforme figura 2.

Figura 2 – Raspagem da câmara de secagem do mini *spray dryer*

A) Maltodextrina 30%



B) Maltodextrina 15% + Methocel 15%



Fonte: A) Fórmula com maltodextrina 30%, B) Maltodextrina 15% + Methocel 15%

A recuperação do mel de cacau seco por *spray drying* foi demonstrada quanto à técnica de raspagem de câmara (Figura 2). Observa-se na Figura 2 (A) que, na formulação com maltodextrina 30%, parte dos sólidos da formulação ficaram retidos na parede da câmara mesmo após utilização da técnica de raspagem manual, indicando que 30% do carreador não foi eficiente para superar a viscosidade. Porém, em (B), que mostra o aspecto da mistura 1:1 (15% maltodextrina e 15% de methocel), a recuperação do pó foi mais eficiente, demonstrando a melhor eficiência da combinação do processo de raspagem mecânica e a propriedade do material carreador para um produto de fluxo livre.

A adição de materiais auxiliares de secagem ou carreadores é um método capaz de alterar a viscosidade de sucos derivados de frutas ricos em açúcar quando submetidos a processos de secagem por *spray dryer*. Estes materiais modificam as características pegajosas do material, formando uma camada externa nas gotas e alteram a pegajosidade superficial das partículas devido à transformação do estado vítreo, tentando controlar o produto durante a secagem e melhorando o desempenho do processo (ADHIKARI *et al.*, 2004; BHANDARI; DATTA; HOWES, 1997; VERMA; SINGH, 2015).

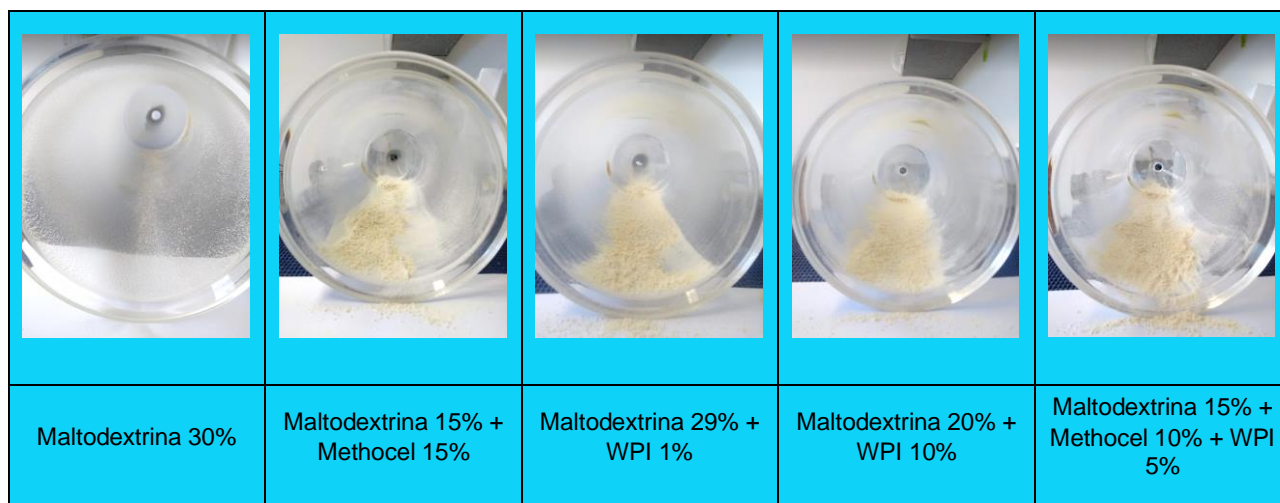
A pegajosidade dos produtos de frutas durante a secagem por *spray drying* é atribuída à plastificação térmica desses açúcares de baixo peso molecular e

baixa temperatura de transição vítrea (T_g), essencialmente sacarose ($T_g = 62\text{ °C}$), glicose ($T_g = 31\text{ °C}$) e frutose ($T_g = 5\text{ °C}$), açúcares que, foram quantificados no mel de cacau (2,15; 2,13 e 4,42% respectivamente) (BALLADARES *et al.*, 2016; SOBULSKA; ZBICINSKI, 2021; TRUONG; BHANDARI; HOWES, 2005). Além disso, a presença de ácidos orgânicos como ácido cítrico ($T_g = 16\text{ °C}$) prolonga a aderência da superfície de alimentos ricos em açúcar, atributo quantificado no mel de cacau com teores entre 0,77 e 1,52% (ADHIKARI *et al.* 2004; MAGALHÃES, 2021). A transição vítrea ocorre quando a temperatura sobe em uma faixa de 10 a 20 °C acima da temperatura de transição vítrea do produto, sendo que para melhor estabilidade, a temperatura de processamento deve estar abaixo da temperatura de transição vítrea (FAZAELI *et al.*, 2012).

A raspagem mecânica da parede da câmara é uma abordagem para quantificar o rendimento, avaliar eficiência e reduzir a aderência do material. Além disso, outras abordagens de processo podem ser combinadas para secagem *spray drying* como resfriamento das paredes do secador por pulverização e diminuição da temperatura do ar de saída para manter a temperatura do produto abaixo do ponto pegajoso. Porém, são técnicas que podem resultar na produção de pó com alto teor de umidade e alta atividade de água, restringindo sua vida útil durante o período de armazenamento (JAFARI *et al.*, 2017). Outro método é aplicação de ar desumidificado, entretanto esta e outras as demais técnicas de processo são viáveis apenas em escala industrial, devido ao alto investimento em design de secadores, investimentos adicionais em acessórios e custo energético (MUZAFFAR; NAYIK; KUMAR, 2015; SAMBORSKA *et al.*, 2019; SOBULSKA; ZBICINSKI, 2021). Karatas & Esin (1989) desenvolveram um sistema útil para secagem de produtos ricos em açúcares, capaz de produzir um produto de fluxo livre em uma câmara de secagem com raspador de parede. Este sistema alcançou eficiência de 77% de recuperação para suco de tomate e temperatura de ar de entrada baixa (115 °C).

Esta aderência com deposições do material na parede interna do secador e aglomeração de partículas, apesar de comum em secagem por pulverização, provoca condições inaceitáveis que levam à qualidade inferior do produto seco e perda econômica (JAYASUNDERA; KULATUNGA, 2014). O aspecto das amostras de mel de cacau seco adicionado de excipientes recuperadas na câmara de secagem do mini *spray dryer* são apresentados na figura 3.

Figura 3 - Aspecto das amostras de mel de cacau seco adicionado de excipientes recuperadas na câmara de secagem do mini *spray dryer*.



Uma baixa recuperação de pó foi observada para formulação de mel de cacau + 30% de carreador maltodextrina. As maltodextrinas são produtos da hidrólise do amido, consistindo em unidades α -D-glicose ligadas principalmente por ligações α -(1-4) glicosídicas e descritas por sua equivalência de dextrose (DE), uma vez que o DE é inversamente relacionado à sua média peso molecular (LABUSCHAGNE, 2018). É utilizada na indústria alimentar para vários fins e têm vários benefícios para processamento de alimentos como: alta solubilidade em água, baixa viscosidade, sabor suave, é incolor quando em solução, oferece proteção à oxidação quando usado como material de parede, e tem um baixo custo de obtenção (COIMBRA; CARDOSO; GONCALVES, 2021; SAAVEDRA-LEOS *et al.*, 2015). A função da maltodextrina como carreador nesta pesquisa, foi reduzir a viscosidade da superfície do açúcar de baixo peso molecular e, assim, evitar a deposição na parede da câmara. Porém, o resultado foi rendimento inferior aos experimentos com formulações mistas. Tonon *et al.* (2008) observaram que o aumento de concentração de maltodextrina na formulação aumentou a viscosidade, o que acabou reduzindo o rendimento final do pó e aumentando o tamanho das partículas.

Para a formulação 1:1 com adição de 15% de maltodextrina e 15% de methocel ao total de mel de cacau as recuperações aumentaram ocorrendo menor deposição na parede da câmara após técnica de raspagem. Hidroxipropil metil celulose provou melhorar as propriedades físico-químicas e aumentar o rendimento do produto em uma mistura de agentes carreadores de maltodextrina, methocel e goma xantana na recuperação de saponinas em 53,81% (VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ *et al.*, 2021). Wang *et al.* (2014) comparam o efeito da concentração mínima de 8% de methocel e 50% de maltodextrina para obter o mesmo resultado, superar a adesão de partículas pegajosas de extratos de ervas chinesas (*Crataegi fructus*) que possui composição de açúcares similares a derivados de frutas, durante secagem por pulverização. Methocel pertence à classe de novos carboidratos adotados como materiais carreadores, com propriedades superiores às da goma arábica (RODEA-GONZALEZ *et al.*, 2012).

Para as formulações maltodextrina 29% e WPI 1% (29:1), maltodextrina 20% e WPI 10% (2:1) e maltodextrina 15% , methocel 10% e WPI 5% (1,5:1:0,5) foi observado rendimento superior de pó, com menor aderência em relação às demais formulações. Destaca-se a formulação de maltodextrina e WPI (2:1) com maior rendimento entre as formulações com adição de WPI.

O WPI é um subproduto da indústria de queijo e tem múltiplas aplicações na indústria alimentícia (PINTO *et al.*, 2015). O WPI pode ser usado sozinho ou em combinação com outros materiais de parede e apresenta excelente capacidade de formação de filme, alto peso molecular, propriedades funcionais, alta solubilidade e viscosidade, e grande capacidade de retenção de nutrientes no processo de encapsulamento de compostos (LEE; TAIP; ABDULLAH, 2018; SHISHIR; CHEN 2017). Esses atributos agregam ao WPI e a outros carreadores à base de proteína a capacidade de secagem por *spray drying* semelhantes à maltodextrina e gomas. Além disso, WPI mostrou melhorar significativamente a secagem de produtos com alto teor de açúcar (JAYASUNDERA *et al.*, 2011)

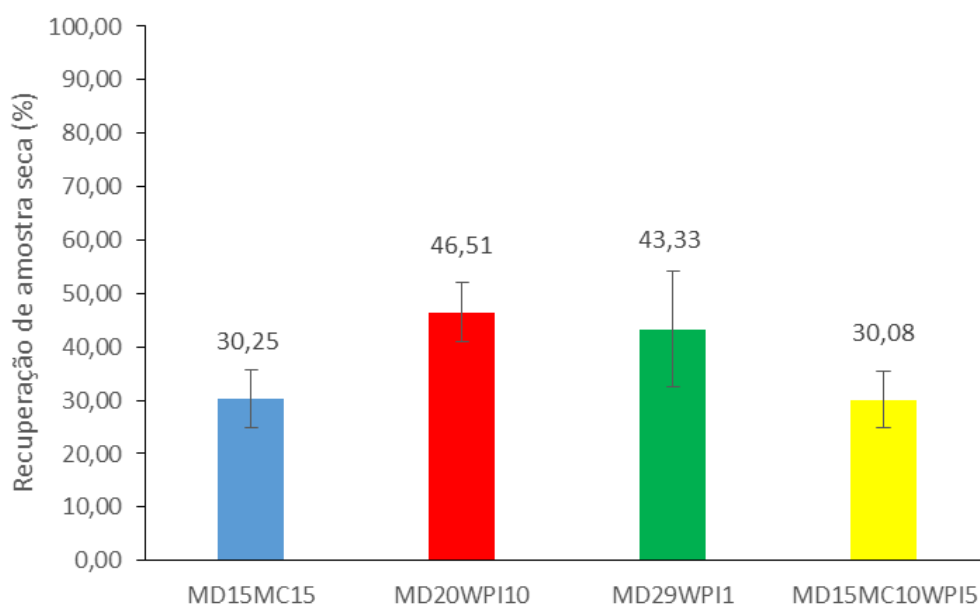
Shi *et al.* (2013) demonstraram que a recuperação do pó foi significativamente melhor pela adição de maltodextrina e WPI em comparação à secagem de mel apícola puro. A secagem por pulverização de mel apícola puro não levou à recuperação de mel em pó pois todos os sólidos do mel aderiram à parede do secador. Com a adição de 50% e 60% de maltodextrina em relação ao teor de

sólidos do mel, a recuperação de pó aumentou para $20,6 \pm 5,8\%$ e $52,8 \pm 3,3\%$, respectivamente. Resultados positivos ($28,4 \pm 4,9\%$ de rendimento) foram alcançados, com recuperação de pó no ciclone associada à técnica de raspagem quando o mel apícola foi seco por pulverização com maltodextrina na proporção 50:50 em relação aos sólidos totais. Resultados ainda melhores foram alcançados com o uso de 30% de WPI com recuperação de $63,5 \pm 2,4\%$ de pó (ADHIKARI *et al.*, 2007). Fang & Bhandari (2012) relataram que uma pequena quantidade de WPI (1%) foi suficiente para recuperar 50% suco de *bayberry* em pó, sendo que, nas mesmas condições de processo, o mesmo rendimento foi alcançado usando 30% de maltodextrina.

A associação de carboidratos com proteínas como materiais de parede corrobora com a redução da temperatura de T_g , influencia na retenção de compostos na microcápsula do material seco e aumenta a capacidade de emulsificação do material, além de promover maior resistência à oxidação, com extensão vida de prateleira do produto final (ENCINA *et al.*, 2016; MAR *et al.*, 2020; RODEA-GONZALEZ *et al.*, 2012).

O WPI mostrou ser uma opção de material viável para evitar problemas na secagem por *spray drying* como pegajosidade na parede da câmara do secador, e cristalização de açúcares de baixa T_g como frutose, o que são condições importantes no caso de produtos ricos em açúcar, como o mel de cacau. A recuperação dos sólidos no coletor/ciclone após a secagem do mel de cacau com diferentes materiais carreadores foi avaliada quanto ao rendimento, como apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Recuperação de sólidos no coletor/ciclone (rendimento) após a secagem do mel de cacau utilizando excipientes



MD15MC15 – Maltodextrina e Methocel adicionados ao mel de cacau, na proporção de 1:1, em quantidade referente a 30% dos sólidos totais da preparação (15% e 15% respectivamente); MD29WPI1 – Maltodextrina e WPI adicionados ao mel de cacau, na proporção de 29:1, em quantidade referente a 30% dos sólidos totais da preparação (29% e 1% respectivamente); MD20WPI10 – Maltodextrina e WPI adicionados ao mel de cacau, na proporção de 2:1, em quantidade referente a 30% dos sólidos totais da preparação (20% e 10% respectivamente); MD15MC10WPI5 – Maltodextrina, Methocel e WPI adicionados ao mel de cacau, na proporção de 1,5:1:0,5, em quantidade referente a 30% dos sólidos totais da preparação (15%, 10% e 5% respectivamente).

A recuperação do produto é um dos principais índices de desempenho de um secador por *spray*. O rendimento do produto é definido como a razão entre a massa do produto seco coletado após a secagem e o peso de sólidos totais. É um indicador importante para a indústria, pois maior rendimento significa mais eficiência do processo e mais viabilidade. A principal razão para o baixo rendimento do produto é o problema de pegajosidade dos componentes dos alimentos (CAN KARACA; GUZEL; AK, 2016). Bhandari *et al.* (1997) relataram que processos de secagem por *spray drying* bem-sucedidos devem ter rendimento do produto superior a 50%, valores que podem ser possivelmente obtidos para o mel de cacau em

equipamento *spray dryer* para escala industrial devido a quantidade de recursos dos equipamentos.

A Figura 4 (a) mostra que a porcentagem de recuperação de pó variou entre 30,08 e 46,51%, nas mesmas condições de temperatura de processo. Observou-se que a porcentagem de recuperação do pó aumentou com a mistura de maltodextrina e WPI adicionados ao mel de cacau, na proporção de 2:1, em quantidade referente a 30% dos sólidos totais da preparação (20% e 10% respectivamente). Este aumento na recuperação de pó provavelmente foi devido à redução da viscosidade e à diminuição da pegajosidade, resultando em menor aglutinação de partículas de pó nas paredes da câmara de secagem recuperados pelo processo de raspagem. Outra razão possível pode ser o aumento na temperatura de transição vítrea resultante da mistura da proteína como agente carreador do mel de cacau. O uso de proteínas como o WPI na secagem por *spray* cria a formação de um filme de alto teor proteico na superfície da partícula, sendo que este filme possui alta temperatura de transição vítrea quando submetido ao ar quente dentro do secador, diminuindo as interações das partículas com a parede da câmara do secador, com consequente aumento do rendimento do produto (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014; TONTUL; TOPUZ 2017).

Melhorias no rendimento foram relatados para secagem por *spray* de suco de laranja, que aumentou até 80% com adição de 5% de WPI (WANG; KONKOL; LANGRISH, 2011). Também foram relatados aumento de rendimento de pó de *bayberry* com 30% de maltodextrina e 0,5% de WPI (FANG; BHANDARI, 2012) e aumento de 77% no rendimento de secagem por *spray drying* de suco de beterraba (BAZARIA; KUMAR, 2017).

O rendimento do produto em pó aumenta à medida que se aumenta a porcentagem do carreador na mistura. A principal razão é a menor aderência devido ao aumento de temperatura de transição vítrea, que é mais alta na mistura. O aumento de carreadores pode ser feito até se alcançar uma concentração ótima, contrabalanceando a alta viscosidade da mistura que afeta negativamente a secagem (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008). O aumento do rendimento do produto com o aumento da concentração do carreador foi relatado para suco de tamarindo (CYNTHIA; BOSCO; BHOL, 2015), suco de laranja (GOULA;

ADAMOPOULOS, 2010), caldo de cana-de-açúcar (LARGO AVILA; CORTES RODRÍGUEZ; CIRO VELÁSQUEZ, 2015). Portanto, a relação de concentração de WPI na mistura com maltodextrina e mel de cacau deve ser melhor estudada objetivando aumento no rendimento acima de 50%.

3.2 Caracterização dos ingredientes

A umidade e o teor de sólidos dos ingredientes utilizados nas formulações foram determinados e apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Teor de umidade e sólidos totais dos ingredientes das formulações.

Ingrediente*	MEL	MD	MC	WPI
Umidade (g/100g)	85,3	2,9	3,4	1,8
Sólidos Totais (g/100g)	14,7	97,1	96,6	98,2

* Mel de cacau (MEL); Maltodextrina (MD); Methocel (MC); Isolado proteico de soro de leite (WPI)

3.3 Caracterização das amostras de mel de cacau em pó

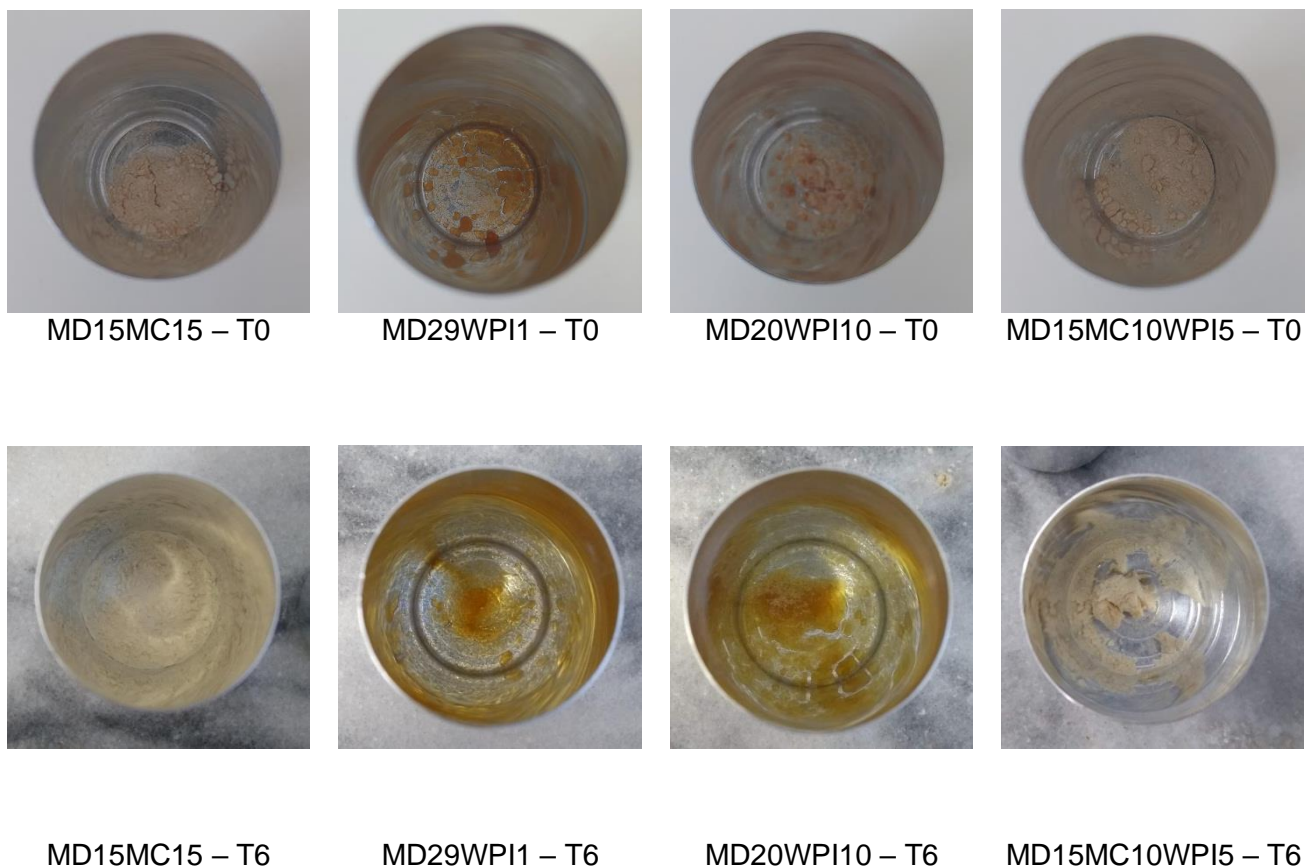
As amostras foram caracterizadas e as análises físicas são apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Resultados de análises físicas das amostras de mel de cacau secas por *spray drying* utilizando diferentes carreadores

Amostra*	Umidade g/100g	aW	Higroscopicidade g água absorvida / 100 g de amostra
Maltodextrina 15% + Methocel 15%	11,68 ± 0,29	0,1562 ± 0,0029	29,67 ± 0,48
Maltodextrina 29% + WPI 1%	11,24 ± 0,23	0,1489 ± 0,0031	29,47 ± 1,84
Maltodextrina 20% + WPI 10%	11,72 ± 0,08	0,1481 ± 0,0042	29,29 ± 0,05
Maltodextrina 15% + Methocel 10% + WPI 5%	11,61 ± 1,06	0,1464 ± 0,0043	29,87 ± 0,17

* Isolado proteico de soro de leite (WPI)

Figura 5 - Aparência dos desidratados após a análise de higroscopicidade no tempo (T0) e após 6 meses de estocagem (T6)



O teor de umidade e a atividade de água (aW) determinados para os pós de mel de cacau produzidos por secagem por *spray* foram, em média 11,56 g / 100 g e 0,1499 respectivamente. O teor de umidade é diferente da aW, pois representa a composição da água em um sistema alimentar. Usando apenas os valores de umidade, é impossível saber quão disponível a água está no produto para favorecer o desenvolvimento microbiano ou para influenciar na qualidade do produto; por isto deve-se conhecer a atividade de água. A aW é a propriedade mais relevante para questões de qualidade e segurança alimentar, medindo a disponibilidade de água livre nos alimentos, que é responsável pelas reações bioquímicas (SANTANA *et al.*, 2017). Valores elevados de aW indicam grande quantidade de água livre disponível

para reações de deterioração, limitando, portanto, a vida de prateleira do alimento (TONTUL; TOPUZ 2017). Como os valores de a_w dos pós ficaram abaixo de 0,1562, as formulações para o mel de cacau em pó podem ser consideradas estáveis, uma vez que as taxas de reação bioquímica seriam extremamente lentas. Quanto à segurança microbiológica, podem ser classificados como alimentos seguros. Entretanto, o produto em pó pode precisar de uma embalagem que evite absorção de água para não agir como plastificante e aglutinar o pó durante o armazenamento (SANTANA *et al.*, 2017).

A higroscopicidade é a capacidade de um material absorver umidade do ambiente quando submetido a alta umidade relativa (THAKUR *et al.*, 2021). É uma propriedade essencial relacionada à vida de prateleira durante o armazenamento, que determina a estabilidade da qualidade do produto devido ao aumento do teor de água, que criam condições favoráveis para o crescimento microbiano e reações bioquímicas (JUAREZ-ENRIQUEZ *et al.*, 2017). Um produto em pó com baixa higroscopicidade, baixo teor de umidade, baixo grau de aglomeração e alta solubilidade é considerado um pó adequado para estocagem (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014).

A Tabela 4 mostra que a higroscopicidade dos pós de mel de cacau varia de 29,29 a 29,87 g de água/ 100 g de mel de cacau, a qual diminuiu com o aumento da taxa de adição do WPI. Os valores de higroscopicidade são próximos aos da maioria dos pós produtos açucarados secos por *spray* como valores de 22–28 g de água / 100 g para caqui (*Diospyros kaki*) em pó (DU *et al.*, 2014), 18,77-27,33 g de água / 100 g de pó de groselha (*Ribes rubrum*) (FERRARI; GERMER; DE AGUIRRE, 2012) e 22,0-27,4 g de água / 100 g para mel de colza (*Frasica napus*) (JEDLIŃSKA *et al.*, 2019), 46,03-56,32 g de água / 100 g de para suco de amla (*Phyllanthus emblica*) (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014).

Valores mais baixos de higroscopicidade de alimentos ricos em açúcar secos por *spray* estão relacionadas com temperaturas de transição vítrea mais altas (BHUSARI; MUZAFFAR; KUMAR, 2014). Portanto, o aumento na taxa de adição do WPI na formulação maltodextrina 20% + WPI 10%, pode ter influenciado positivamente no aumento da T_g , diminuindo assim a higroscopicidade. Além disso, WPI são menos higroscópicos devido seu alto peso molecular, influenciando no produto final.

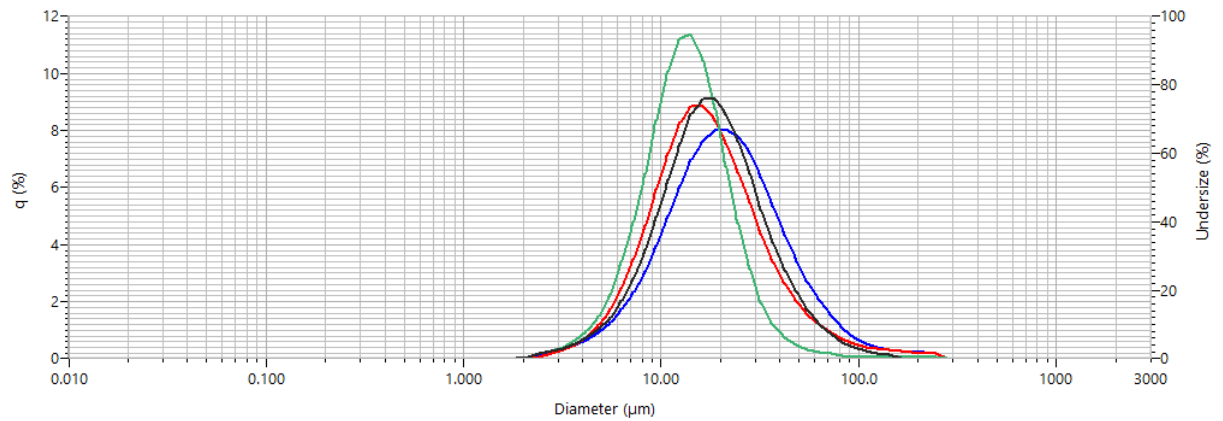
A Tabela 4 apresenta dados granulométricos e, relacionando-se com a Figura 6, que apresenta o gráfico de distribuições de tamanho de partículas das diversas formulações, pode se observar o grau de polidispersidade das partículas. As faixas de tamanho são similares, o que era esperado visto que o mesmo atomizador e as mesmas condições de secagem foram utilizados.

Tabela 4 - Resultados para distribuição granulométrica das amostras de mel de cacau secas por *spray drying* utilizando diferentes excipientes.

Parâmetros de distribuição granulométrica ¹				
Amostra ²	D10	D50	D90	Span
Maltodextrina 15% + Methocel 15%	8,13 ± 0,06	17,88 ± 0,05	39,12 ± 0,29	1,73 ± 0,02
Maltodextrina 29% + WPI 1%	7,72 ± 0,15	17,92 ± 0,26	38,88 ± 0,44	1,74 ± 0,04
Maltodextrina 20% + WPI 10%	7,01 ± 0,06	18,25 ± 0,37	56,65 ± 1,17	2,72 ± 0,06
Maltodextrina 15% + Methocel 10% + WPI 5%	7,80 ± 0,02	15,22 ± 0,03	29,09 ± 0,09	1,40 ± 0,00

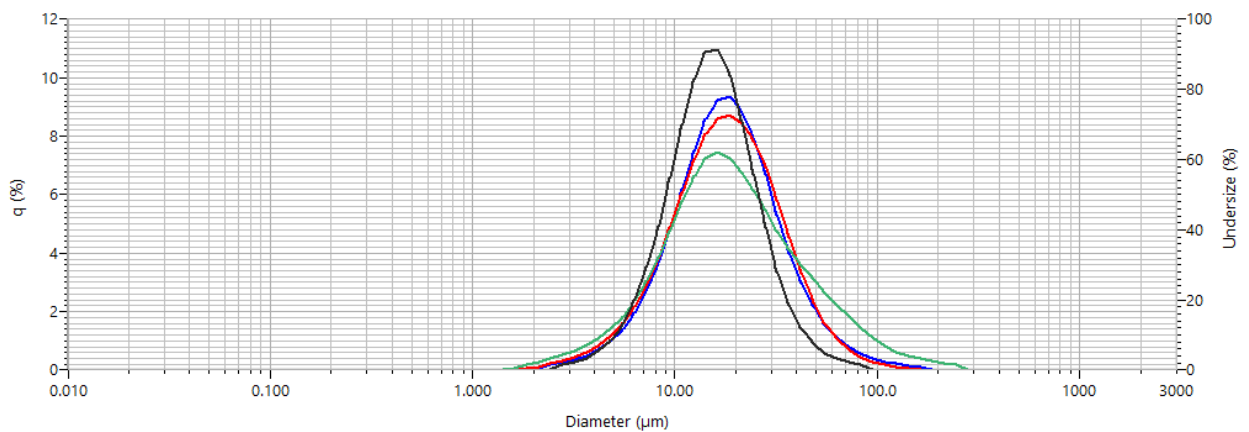
¹ D10, D50 e D90 representam diâmetros referentes a 10, 50 e 90% da distribuição acumulada das partículas. D50 é considerado o diâmetro médio. Span: índice de polidispersidade calculado: (D90 – D10 / D50). ² Isolado proteico de soro de leite (WPI).

Figura 6 - Comparação de curvas de distribuição de tamanho de partículas para amostras de mel de cacau contendo diferentes excipientes secas por spray drying logo após o tempo 0 (T0)



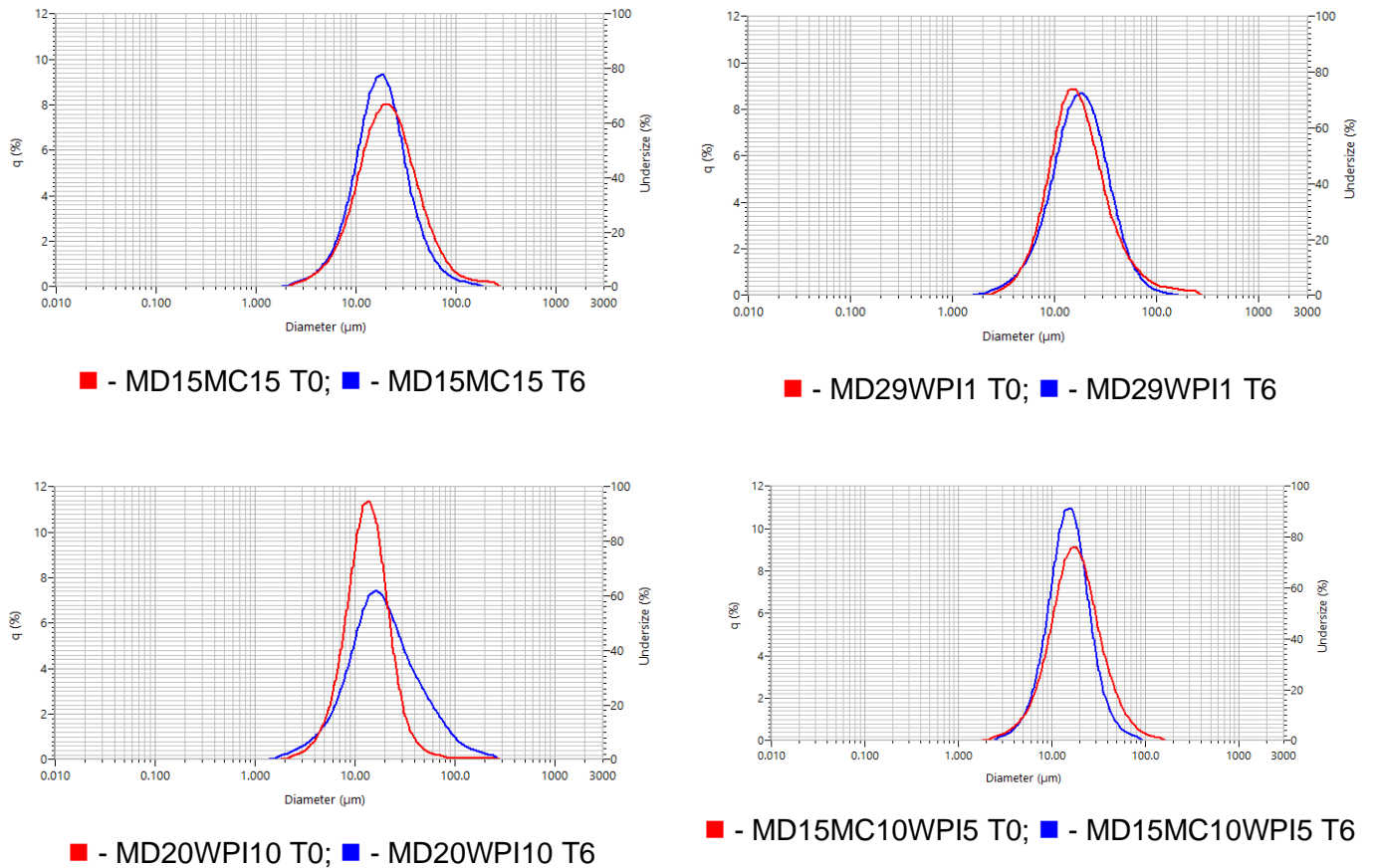
■ - MD15MC15 T0; ■ - MD29WPI1 T0; ■ - MD20WPI10 T0; ■ - MD15MC10WPI5 T0.

Figura 7 - Comparação de curvas de distribuição de tamanho de partículas para amostras de mel de cacau contendo diferentes excipientes secas por spray drying logo após o 6 meses de estocagem (T6)



■ - MD15MC15 T6; ■ - MD29WPI1 T6; ■ - MD20WPI10 T6; ■ - MD15MC10WPI5 T6.

Figura 8 - Comparação de curvas de distribuição de tamanho de partículas para amostras de mel de cacau contendo diferentes excipientes secas por spray drying logo após o processamento (T0) e com seis meses de armazenamento (T6).



Na tabela 4 os parâmetros apresentados para análise granulométrica, onde tem-se uma polidispersidade maior para maltodextrina 20% + WPI 10% com span de 2,72, ou seja, apresenta maior variação de tamanho entre as partículas pequenas e grandes da amostra. A figura 6 apresenta uma distribuição monomodal para todas as curvas, entretanto, apesar de as curvas saírem do mesmo ponto, a curva para os carreadores maltodextrina 20% + WPI 10% finalizam em 300 micrometros, em comparação a curva que representa os carreadores maltodextrina

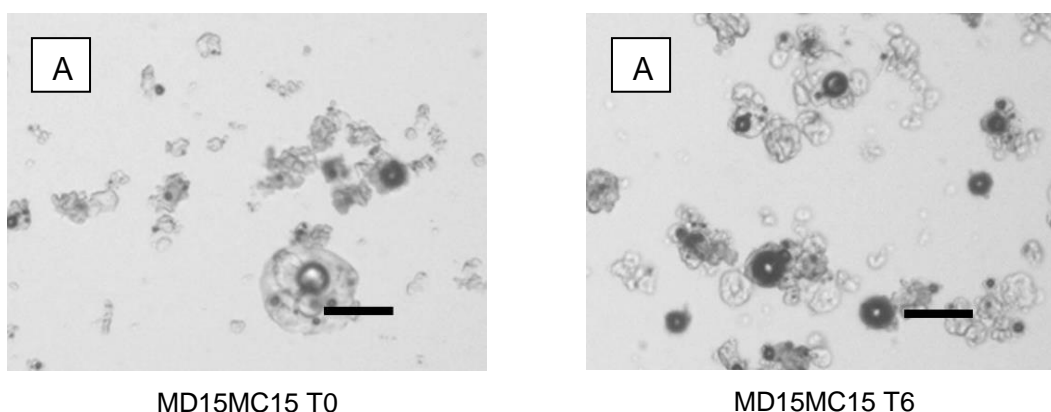
15% + methocel 10% + WPI 5%. A curva da formulação maltodextrina 20% + WPI 10%, pode ser indicativo de partículas maiores e pequenos aglomerados conforme representação na Figura 7 (C).

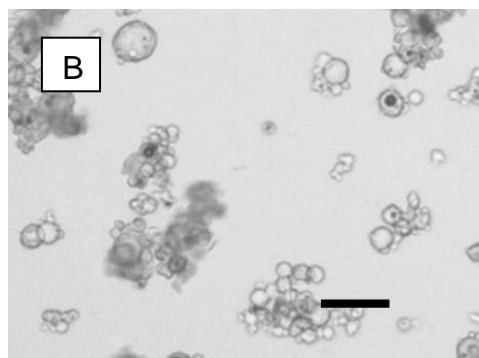
3.4 Morfologia

A Figura 7 apresenta a morfologia da superfície das micropartículas observadas nas imagens obtidas por microscopia ótica (MEV) na régua de 50 micrometros. Os pós apresentaram estruturas esféricas típicas de materiais submetidos à atomização. A figura 7 (C) apresenta partículas maiores e mais aglomeradas para a formulação maltodextrina 20% + WPI 10% , supostamente devido à formação de um filme mais eficiente respectivo à presença do WPI, visto que, nesta condição, o pó foi obtido a partir de maior porcentagem de carreador em relação às demais formulações.

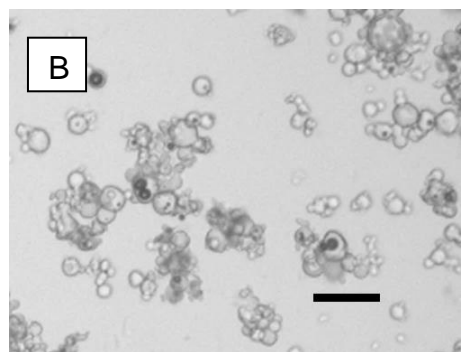
A grande parte das partículas assumem forma esférica após processo de secagem por *spray drying*, o que fornece propriedades de fluxo semelhantes a fluidos. Essa geometria torna as operações posteriores à secagem, como envase, prensagem, filtragem e manuseio mais fáceis e menos onerosas (SHRESTHA *et al.*, 2007). A secagem por *spray drying* produz produtos mais homogêneos a partir de soluções multicomponentes.

Figura 9 - Aparência das amostras de mel de cacau, contendo diferentes excipientes, secas por *spray drying* logo após o processamento (T0) e com 6 meses de armazenamento (T6). Régua de 50 micrômetros.

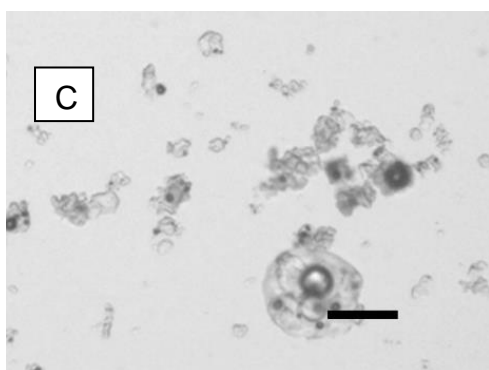




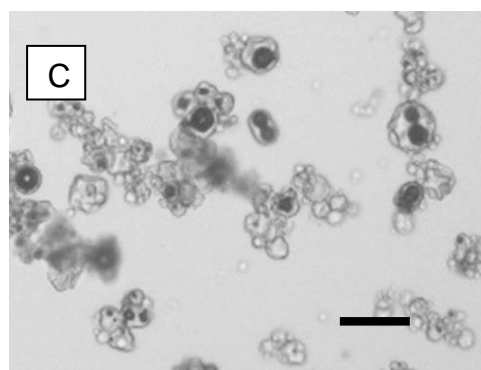
MD29WPI1 T0



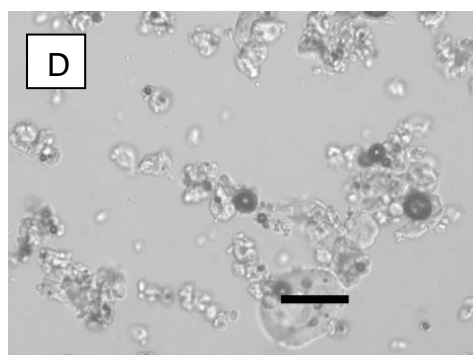
MD29WPI1 T6



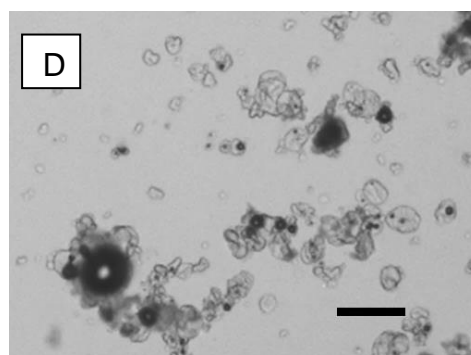
MD20WPI10 T0



MD20WPI10 T6



MD15MC10WPI5 T0



MD15MC10WPI5 T6

As amostras de mel de cacau em pó obtidos nas Figuras 7 (A) Maltodextrina 15% + Methocel 15% (T0 e T6) , (B) maltodextrina 29% + WPI 1% (T0 e T6) e (C) maltodextrina 20% + WPI 10% (T0 e T6) e (D) Maltodextrina 15% + Methocel 10% + WPI 5% (T0 e T6) apresentaram partículas amorfas, com afastamento e menor atração entre elas. Ao aumentar a concentração de WPI as partículas tenderam a se tornar maiores e mais agrupadas. Verifica-se na Figura 7 (C) que a formulação que utilizou os carreadores maltodextrina 20% + WPI 10%, apresentou partículas, amorfas, maiores e mais aglomeradas

O teor de polifenóis do mel de cacau utilizado nesse estudo foi de $47,9 \pm 1,6$ mg / 100 g de produto líquido. Goes & Rodrigues (2020) avaliaram uma amostra de mel de cacau obtida na mesma região do que o produto utilizado nesse estudo e obtiveram valor de polifenóis totais de 23 mg / 100 g de produto líquido. Considerando que o mel de cacau utilizado contém 14,7 g /100 g de sólidos totais, o teor de polifenóis totais em base seca é de $325,8 \pm 11,0$ mg / 100 g e esse valor encontra-se dentro dos teores observados por Silva et al. (2014) para esses componentes (101,50 para 1200 mg). Os teores de polifenóis, assim como outros componentes dos frutos sofrem influência do clima, época do ano, condições de cultivo, espécie, dentre outros fatores (VILKICKYTE; RAUDONE, 2021). Os teores de polifenóis totais para os produtos em pó obtidos a partir da secagem do mel de cacau são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teores, eficiência de retenção e porcentagem de perdas de polifenóis no mel de cacau em pó, proveniente de diferentes tratamentos no tempo inicial 0 (T) e após 6 meses de estocagem (T6).

Formulação	Teores de polifenóis (mg/100g **bs)		
	T0	T6	Perda (%)
Maltodextrina 15% + Methocel 15%	$329,71 \pm 1,17^{aA}$	$294,53 \pm 4,69^{aB}$	10,67
Maltodextrina 29% + WPI 1%	$347,26 \pm 1,30^{bA}$	$326,28 \pm 4,22^{bA}$	6,04
Maltodextrina 20% + WPI 10%	$423,75 \pm 13,40^{bA}$	$383,73 \pm 8,49^{bA}$	9,44
Maltodextrina 15% + Methocel 10% + WPI 5%	$434,07 \pm 8,41^{bA}$	$390,88 \pm 5,91^{bA}$	9,95

*Resultados expressos em média da triplicata \pm desvio padrão. Médias dentro de uma coluna que são seguidas por letras minúsculas diferentes são significativamente diferentes, de acordo com o teste t de Tukey ($p < 0,05$). Médias dentro de uma linha que são seguidas por letras maiúsculas diferentes são significativamente diferentes, de acordo com o teste t de Tukey ($p < 0,05$). **bs: base seca.

Nas formulações em pó, removendo-se a umidade (base seca), o mel de cacau representa 70% dos sólidos, sendo que os 30% restantes corresponde aos excipientes utilizados. Sendo assim, o teor de polifenóis no mel de cacau em pó, decorrente apenas do produto líquido utilizado seria de 228,06 mg / 100 g de formulação seca. Observando-se os resultados da Tabela 5, nota-se que, em todas as formulações secas, os teores de polifenóis totais são superiores ao valor de contribuição do mel de cacau líquido, indicando a possibilidade de interferentes oriundos dos excipientes terem influenciado na quantificação.

O cacau e seus derivados, como chocolate, são importantes fontes de polifenóis alimentares em todo o mundo (TSAO, 2010). A análise de polifenóis totais por método espectrofotométrico de Folin-Ciocalteu baseia-se em uma reação de oxirredução entre um agente redutor da amostra e o reagente de Folin-Ciocalteu, uma reação que não é exclusiva para compostos fenólicos. Sendo assim, diversos componentes da amostra como ácido ascórbico, açúcares redutores, SO₂ e tirosina podem interferir na análise, superestimando a quantidade de polifenóis presente na amostra (MA *et al*, 2019). Além disso, a utilização do ácido gálico como substância para construção da curva padrão utilizada no cálculo da quantidade de polifenóis pode também interferir no resultado, visto que se baseia em um único polifenol que não é necessariamente o majoritário nas composições de alimentos. Apesar de essa análise apresentar vantagens como baixo custo e facilidade de execução, ela apenas apresenta uma estimativa do total de polifenóis e não permite a percepção dos compostos individualmente (EVERETTE *et al.*, 2010; MA *et al*, 2019).

Com base nas considerações sobre a análise de polifenóis totais utilizada nesse trabalho, pode-se dizer que houve interferência dos carreadores na quantificação desses compostos. Análises mais específicas para os compostos em questão (polifenóis) são sugeridas para uma maior acuidade na quantificação. Apesar de que os valores possam ter sido superestimados, ainda é possível fazer uma avaliação quanto à perda desses componentes ao longo do tempo nas formulações de mel de cacau em pó. Na Tabela 5 é possível observar que a perda de polifenóis variou entre 6,04 e 10,67%, as quais podem ser consideradas perdas baixas para um tempo de armazenamento de 6 meses.

Utilizando um nível de 95% de confiança ($p < 0,05$), a análise estatística revelou haver diferença mínima significativa ($p < 0,05$) nas interações indicando que a ausência do WPI na formulação Maltodextrina 15% + Methocel 15% tanto no tempo 0 entre os processos, quanto no tempo de armazenamento após 6 meses entre os processos e na mesma formulação pode ter influenciado na menor proteção dos polifenóis após o processo de atomização.

Vários casos de sucesso foram relatados com o uso do WPI sozinho ou combinado para estabilidade de compostos. Os resultados de alguns estudos indicaram um aumento na estabilidade e preservação das propriedades biológicas da riboflavina encapsulada no isolado de proteína de soro de leite (YE; WOO; SELOMULYA, 2019), antocianinas de arroz preto (NORKAEW *et al.*, 2019) e vulgaxantina-I e betalaínas (DO CARMO *et al.*, 2018) com uma mistura de WPI e maltodextrina.

4. CONCLUSÃO

O presente trabalho investigou o efeito de três carreadores, em distintas proporções, na secagem do mel de cacau por *spray drying*. Foram realizadas análises físico-químicas, granulométricas e de microscopia para caracterização dos pós obtidos, além do estudo da capacidade de retenção de compostos fenólicos nas mesmas condições de temperatura, após os processos. Os resultados revelaram que a proteína isolada do soro de leite (WPI) pode ser uma alternativa promissora como carreador, quando adicionada a outros produtos como a maltodextrina, para obtenção do mel de cacau em pó. O aumento da porcentagem de WPI na formulação aumentou o rendimento e diminuiu a higroscopicidade do produto final além de agregar proteínas aumentando seu valor nutricional. Por outro lado, a formulação utilizando maltodextrina 29% + WPI 1% apresentou maior retenção dos compostos fenólicos em relação às demais formulações. A adição de methocel e a redução de WPI na formulação junto a maltodextrina não resultou em rendimento final adequado e nem influenciou positivamente na retenção dos compostos fenólicos. De maneira geral, os resultados obtidos neste estudo indicam que um mel de cacau em pó, de boa qualidade pode ser produzido por atomização, utilizando o WPI como carreador em formulações com maltodextrina e mel de cacau. Pesquisas futuras são

necessárias para avaliar como outras possíveis formulações e dosagens com WPI e maltodextrina podem ser aplicadas para aumento de rendimento do mel de cacau em pó pela tecnologia de *spray drying*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; SHRESTHA, A. K.; BHANDARI, B. R. Development of stickiness of whey protein isolate and lactose droplets during convective drying. **Chemical Engineering and Processing: Process Intensification**, v. 46, n. 5, p. 420-428, 2007.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B. R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying experiments and modelling. **Journal of Food Engineering**, v. 62, n. 1, p. 53–68, 2004.

ANDRADE, A. B.; DA CRUZ, M. L.; DE SOUZA OLIVEIRA, F. A.; SOARES, S. E.; DRUZIAN, J. I.; DE SANTANA, L. R. R.; SOUZA, C.O.; DA SILVA BISPO, E. Influence of under-fermented cocoa mass in chocolate production: Sensory acceptance and volatile profile characterization during the processing. **LWT**, v. 149, p. 112048, 2021.

ALVIM, I. D.; STEIN, M. A.; KOURY, I. P.; DANTAS, F. B. H.; CRUZ, C. L. D. C. V. Comparison between the spray drying and spray chilling microparticles contain ascorbic acid in a baked product application. **LWT-Food Science and Technology**, v. 65, p. 689-694, 2016.

AOAC INTERNATIONAL. **Official Methods of Analysis of the AOAC International**. 18th ed., 3rd rev. Gaithersburg, MD, 2010.

BALLADARES, C.; CHÓEZ GUARANDA, I.; GARCÍA, J.; SOSA, D.; PÉREZ, S.; GONZÁLEZ, J. E.; VITERI, R.; BARRAGÁN, A.; QUIJANO AVILÉS, M.; MANZANO, P. Physicochemical characterization of *Theobroma cacao* L. mucilage, in Ecuadorian coast. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 741-745, 2016.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Comparative analysis of bio-polymers addition on structural and physical properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 41, n. 6, p. e13232, 2017.

BARBOSA, J.; TEIXEIRA, P. Development of probiotic fruit juice powders by spray-drying: A review. **Food Reviews International**, v. 33, n. 4, p. 335-358, 2017

BHANDARI, B. R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying technology**, v. 15, n. 2, p. 671-684, 1997.

BHUSARI, S. N.; MUZAFFAR, K.; KUMAR, P. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder technology**, v. 266, p. 354-364, 2014.

CAI, Y. Z.; CORKE, H. Production and properties of spray-dried *Amaranthus* betacyanin pigments. **Journal of food science**, v. 65, n. 7, p. 1248-1252, 2000.

CAN KARACA, A.; GUZEL, O.; AK, M. M. Effects of processing conditions and formulation on spray drying of sour cherry juice concentrate. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 2, p. 449-455, 2016.

CAO, H.; SAROGLU, O.; KARADAG, A.; DIACONEASA, Z.; ZOCCATELLI, G.; CONTE-JUNIOR, C. A.; GONZALEZ-AGUILAR, G. A.; OU, J.; BAI, W.; ZAMARIOLI, C. M.; DE FREITAS, L. A. P.; SHPIGELMAN, A.; CAMPELO, P. H.; CAPANOGLU, E.; HIL, C. L.; JAFARI, S. M.; QI, Y.; LIAO, P.; WANG, M.; ZOU, L.; BOURKE, P.; SIMAL-GANDARA, J.; XIAO, J. Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. **Food Frontiers**, 2021.

COIMBRA, P. P. S.; CARDOSO, F. D. S. N.; GONCALVES, E. C. B. D. A. Spray-drying wall materials: relationship with bioactive compounds. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 61, n. 17, p. 2809-2826, 2021.

CYNTHIA, S. J.; BOSCO, J. D.; BHOL, S. Physical and structural properties of spray dried tamarind (*Tamarindus indica* L.) pulp extract powder with encapsulating hydrocolloids. **International Journal of Food Properties**, v. 18, n. 8, p. 1793-1800, 2015.

DO CARMO, E. L.; TEODORO, R. A. R.; FÉLIX, P. H. C.; DE BARROS FERNANDES, R. V.; DE OLIVEIRA, É. R.; VEIGA, T. R. L. A.; BORGES, S. V.; BOTREL, D. A. Stability of spray-dried beetroot extract using oligosaccharides and whey proteins. **Food Chemistry**, v. 249, p. 51-59, 2018.

DONATTI, J. K.; DE SOUSA, M. V. F.; PAIXÃO, M. V. S.; REZENDE, J. A.; DE SOUSA, J. M.; DE SOUZA, Á. H. N.; LOCATELLI, A. R.; DOS SANTOS, T. L. Aproveitamento do subproduto "Mel de Cacau" para produção de bebida alcoólica fermentada. **Revista Brasileira de Desenvolvimento**, v. 7, n. 6, p. 57956-57970, 2021.

DU, J.; GE, Z. Z.; XU, Z.; ZOU, B.; ZHANG, Y.; LI, C. M. Comparison of the efficiency of five different drying carriers on the spray drying of persimmon pulp powders. **Drying Technology**, v. 32, n. 10, p. 1157-1166, 2014.

ENCINA, C.; VERGARA, C.; GIMÉNEZ, B.; OYARZÚN-AMPUERO, F.; ROBERT, P. Conventional spray-drying and future trends for the microencapsulation of fish oil. **Trends in Food Science & Technology**, v. 56, p. 46-60, 2016.

EVERETTE, J. D.; BRYANT, Q. M.; GREEN, A. M.; ABBEY, Y. A.; WANGILA, G. W.; WALKER, R. B. Thorough study of reactivity of various compound classes toward the

Folin–Ciocalteu reagent. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 58, n. 14, p. 8139-8144, 2010.

FADINI, A. L., ALVIM, I. D., RIBEIRO, I. P., RUZENE, L. G., DA SILVA, L. B., QUEIROZ, M. B., BONIFÁCIO, M. Q.; MIGUEL, A.M.R.O.; CHAVES, F.C.M.; RODRIGUES, R. A. F. Innovative strategy based on combined microencapsulation technologies for food application and the influence of wall material composition. **LWT**, v.91, p. 345-352. 2018.

FANG, Z.; BHANDARI, B. Comparing the efficiency of protein and maltodextrin on spray drying of bayberry juice. **Food Research International**, v. 48, n. 2, 478-483, 2012.

FAZAEI, M.; EMAM-DJOMEH, Z.; ASHTARI, A. K.; OMID, M. Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. **Food and bioproducts processing**, v. 90, n. 4, p. 667-675, 2012.

FERRARI, C. C.; GERMER, S. P. M.; DE AGUIRRE, J. M. Effects of spray-drying conditions on the physicochemical properties of blackberry powder. **Drying Technology**, v. 30, n. 2, p. 154-163, 2012.

GAVRILOVA, N. G. Contemporary global production and consumption of cocoa: an assessment. In IOP Conference Series: **Earth and Environmental Science**, v. 839, n. 2, p. 022095, 2021.

GERALDI, M. V.; CAZARIN, C. B. B.; DIAS-AUDIBERT, F. L.; PEREIRA, G. A.; CARVALHO, G. G.; KABUKI, D. Y.; CATHARINO, R. R.; GLAUCIA MARIA PASTORE, G. M.; BEHRENSA, J. H.; CRISTIANINI, M.; JÚNIOR, M. R. M. Influence of high isostatic pressure and thermal pasteurization on chemical composition, color, antioxidant properties and sensory evaluation of jaboticaba juice. **LWT**, v. 139, p. 110548, 2021.

GÓES, G. B. T; RODRIGUES, L. A. P. **Caracterização físico-química de mel de cacau (*Theobroma cacao* L.) produzida no estado da Bahia**. Centro Universitário Senai Cimatec, Salvador – BA, 2020.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. A new technique for spray drying orange juice concentrate. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 11, n. 2, p. 342-351, 2010.

GUAYZA CARPIO, F. L.; VALVERDE MACÍAS, M. D. **Economía circular: aprovechamiento de residuos del cacao en fincas de Vinces, uso potencial como materia prima para su industrialización**. Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Administrativas. 2021.

IKEDA, S. K; FINZER, J. R. D. Produção de maltodextrina em secador por atomização e em SRRI: impactos da temperatura de transição vítrea. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 2, p. e47411226077-e47411226077, 2022.

INDIARTO, R.; RAIHANI, Z. R.; DEWI, M. P.; AQILA, Z. R.; EFENDI, M. Y. A Review of Innovation in Cocoa Bean Processing By-Products. **International Journal**, v. 9, n. 8, 2021.

JAFARI, S. M.; GANJE, M.; DEHNAD, D.; GHANBARI, V.; HAJITABAR, J. Arrhenius equation modeling for the shelf life prediction of tomato paste containing a natural preservative. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 15, p. 5216-5222, 2017.

JAYASUNDERA, J. M. M. A.; KULATUNGA, A. R. Spray-drying of coconut treacle into an amorphous powder. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, 672-678, 2014.

JAYASUNDERA, M.; ADHIKARI, B.; ADHIKARI, R.; ALDRED, P. The effect of protein types and low molecular weight surfactants on spray drying of sugar-rich foods. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 3, p. 459– 469, 2011.

JEDLIŃSKA, A.; SAMBORSKA, K.; WIECZOREK, A.; WIKTOR, A.; OSTROWSKA-LIGEŻA, E.; JAMRÓZ, W.; SKWARCZYŃSKA-MAJ K.; KIEŁCZEWSKI, D.; BŁAŻOWSKI, L.; TUŁODZIECKI, M.; WITROWA-RAJCHERT, D.; WITROWA-RAJCHERT, D. The application of dehumidified air in rapeseed and honeydew honey spray drying-Process performance and powders properties considerations. **Journal of Food Engineering**, v. 245, p. 80-87, 2019.

JIMÉNEZ-SÁNCHEZ, C.; LOZANO-SÁNCHEZ, J.; SEGURA-CARRETERO, A.; FERNÁNDEZ-GUTIÉRREZ, A. Alternatives to conventional thermal treatments in fruit-juice processing. Part 2: Effect on composition, phytochemical content, and physicochemical, rheological, and organoleptic properties of fruit juices. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 57, n. 3, 637-652, 2017.

JUAREZ-ENRIQUEZ, E.; OLIVAS, G. I.; ZAMUDIO-FLORES, P. B.; ORTEGA-RIVAS, E.; PEREZ-VEGA, S.; SEPULVEDA, D. R. Effect of water content on the flowability of hygroscopic powders. **Journal of Food Engineering**, v. 205, p. 12-17, 2017.

KAMIŃSKA-DWÓRZNICKA, A.; KOT, A.; SAMBORSKA, K. Ice recrystallization in model glucose/fructose and honey powder solutions as affected by selected stabilizers. **Journal of Food Processing and Preservation**, p. e15793, 2021.

KARATAS, S.; ESIN, A. A laboratory scraped surface drying chamber for spray drying of tomato paste. **Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie**, v. 23, n. 4, p. 354-357, 1990.

KIRALP, S.; TOPPARE, L. Polyphenol content in selected Turkish wines, an alternative method of detection of phenolics. **Process Biochemistry**, v. 41, n. 1, p. 236-239, 2006.

LABUSCHAGNE, P. Impact of wall material physicochemical characteristics on the stability of encapsulated phytochemicals: A review. **Food Research International** v. 107, p. 227– 247, 2018.

LARGO AVILA, E.; CORTES RODRÍGUEZ, M.; CIRO VELÁSQUEZ, H. J. Influence of maltodextrin and spray drying process conditions on sugarcane juice powder quality. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 68, n. 1, p. 7509-7520, 2015.

LEE, J. K. M.; TAIP, F. S.; ABDULLAH, Z. Effectiveness of additives in spray drying performance: a review. **Food Res** , v. 2, n. 6, 486-499, 2018.

MA, S., KIM, C.; NEILSON, A. P.; GRIFFIN, L. E.; PECK, G. M.; O'KEEFE, S. F.; STEWART, A. C. Comparison of common analytical methods for the quantification of total polyphenols and flavanols in fruit juices and ciders. **Journal of Food Science**, v. 84, n. 8, p. 2147-2158, 2019.

MAR, J. M.; DA SILVA, L. S.; LIRA, A. C.; KINUPP, V. F.; YOSHIDA, M. I.; MOREIRA, W. P.; BRUGINSKI, E.; CAMPOS, F. R.; MACHADO, M. B.; DE SOUZA, T. P.; CAMPELO, P. H.; BEZERRA, J. A.; SANCHES, E. A. Bioactive compounds-rich powders: Influence of different carriers and drying techniques on the chemical stability of the Hibiscus acetosella extract. **Powder Technology**, v. 360, p. 383-391, 2020.

MAGALHÃES, G. M. S. Desenvolvimento de bebida gaseificada à base de “mel de cacau” (*Theobroma cacao*). **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 8, p. 82021-82036, 2021.

MUZAFFAR, K.; NAYIK, G. A.; KUMAR, P. Stickiness problem associated with spray drying of sugar and acid rich foods: a mini review. **Journal of Nutrition & Food Sciences**, n. 12, p. 1, 2015.

NORKAEW, O.; THITISUT, P.; MAHATHEERANONT, S.; PAWIN, B., SOOKWONG, P.; YODPITAK, S.; LUNGKAPHIN, A. Effect of wall materials on some physicochemical properties and release characteristics of encapsulated black rice anthocyanin microcapsules. **Food chemistry**, v. 294, n. 493-502, 2019.

OLIVEIRA MORAES, J.; MACHADO, M. R. G. Qualidade microbiológica de polpa de frutas no Brasil: Um panorama dos anos 2010 a 2020. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 7, p. e17110716377-e17110716377, 2021.

OSORIO, L. L. D. R.; FLÓREZ-LÓPEZ, E.; GRANDE-TOVAR, C. D. The Potential of Selected Agri-Food Loss and Waste to Contribute to a Circular Economy: Applications in the Food, Cosmetic and Pharmaceutical Industries. **Molecules**, v. 26, n. 2, p. 515, 2021.

PINTO, S. S.; FRITZEN-FREIRE, C. B.; BENEDETTI, S.; MURAKAMI, F. S.; PETRUS, J. C. C.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI. Potential use of whey concentrate

and prebiotics as carrier agents to protect Bifidobacterium-BB-12 microencapsulated by spray drying. **Food Research International**, v. 67, p. 400–408, 2015.

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

REGES, B. M.; MAIA, A. M.; SARMENTO, D. H.; SILVA, M. S.; DOS SANTOS, S. M.; DAMACENO, M. N. Quality variables for technological application of cocoa clones from the Brazilian semiarid region1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 25, p. 203-208, 2021.

RODEA-GONZALEZ, D. A.; J. CRUZ-OLIVARES, A.; ROMAN-GUERRERO, M. E.; RODRIGUEZ-HUEZO, E. J.; VERNON-CARTER E. J.; PEREZ-ALONSO, C. Spray-dried encapsulation of chia essential oil (*Salvia hispanica* L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. **Journal of Food Engineering**, v. 111, n.1, p. 102–9, 2012.

RODRÍGUEZ ZAMORA, G. A.; ZAMBRANO FLORES, F. G. **Procesamiento del mucílago de cacao (*Theobroma cacao* L.) como alternativa económica para los productores cacaoteros del Ecuador**. Master's thesis, Guaranda. Universidad Estatal de Bolívar. Facultad de Ciencias Aropecuarias, Recursos Naturales y del Ambiente. Ingeniería Agronómica. Ecuador. 2019.

SAAVEDRA-LEOS, Z.; LEYVA-PORRAS, C.; ARAUJO-DÍAZ, S. B.; TOXQUITERÁN, A.; BORRÁS-ENRÍQUEZ, A. J. Technological application of maltodextrins according to the degree of polymerization. **Molecules**, v. 20, n. 12, p. 21067-21081, 2005.

SAMBORSKA, K.; JEDLIŃSKA, A.; WIKTOR, A.; DEREWIKA, D.; WOŁOSIAK, R.; MATWIJCZUK, A.; JAMRÓZ, W.; SKWARCZYŃSKA-MAJ, K.; KIEŁCZEWSKI, D.; BLAŻOWSKI, L.; TULODZIECKI, M. The effect of low-temperature spray drying with dehumidified air on phenolic compounds, antioxidant activity, and aroma compounds of rapeseed honey powders. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 6, p. 919-932, 2019.

SANTANA, A. A.; MARTIN, L. G. P.; DE OLIVEIRA, R. A.; KUROZAWA, L. E.; PARK, K. J. Spray drying of babassu coconut milk using different carrier agents. **Drying technology**, v. 35, n. 1, p. 76-87, 2017.

SANTOS, A. B.; RÉGO, G. G. F.; SILVA, A. M. Fermentação alcoólica: um processo biológico. **Química: ciência, tecnologia e sociedade**. v. 2, n. 2, p. 18, 2013.

SCHUINA, G. L.; MORAES, V. P.; SILVA, P. I.; CARVALHO, R. V. Effect of thermosonication on pectin methylesterase activity and on quality characteristics of orange juice. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 52, 2021.

SHI, Q., FANG, Z.; BHANDARI, B. Effect of addition of whey protein isolate on spray-drying behavior of honey with maltodextrin as a carrier material. *Drying Technology*, v. 31, n. 13-14, p. 1681-1692, 2013.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, p. 49–67, 2017.

SHRESTHA, A. K.; HOWES, T.; ADHIKARI, B. P.; WOOD, B. J.; BHANDARI, B. R. Effect of protein concentration on the surface composition, water sorption and glass transition temperature of spray-dried skim milk powders. **Food Chemistry**, v. 104, n. 4, p. 1436-1444, 2007.

SHRIVASTAVA, A.; TRIPATHI, A. D.; PAUL, V.; RAI, D. C. Optimization of spray drying parameters for custard apple (*Annona squamosa* L.) pulp powder development using response surface methodology (RSM) with improved physicochemical attributes and phytonutrients. **LWT**, v. 151, p. 112091, 2021.

SILVA, E. N.; RAMOS, D. C.; MENEZES, L. M.; SOUZA, S. O.; LANNES, S. C. S.; SILVA, M. V. Valor nutricional e capacidade antioxidante do mel de cacau (*Theobroma cacao* L.). **Food Science Technology**, v. 34, n. 4, p. 755-59, 2014.

SOBULSKA, M.; ZBICINSKI, I. Advances in spray drying of sugar-rich products. **Drying Technology**, v. 39, n. 12, p. 1774-1799, 2021.

THAKUR, M.; PANT, K.; NAIK, R. R.; NANDA, V. Optimization of spray drying operating conditions for production of functional milk powder encapsulating bee pollen. **Drying Technology**, v. 39, n. 6, p. 777-790, 2021.

TSAO, R. Chemistry and biochemistry of dietary polyphenols. **Nutrients**, v. 2, n. 12, p. 1231-1246, 2010.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of food engineering**, v. 88, n. 3, 411-418, 2008.

TONTUL, I.; TOPUZ, A. Spray-drying of fruit and vegetable juices: Effect of drying conditions on the product yield and physical properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 63, p. 91-102, 2017.

TRUONG, V.; BHANDARI, B.R.; HOWES, T. Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I—Moisture and glass transition temperature profile during drying. **Journal of Food Engineering**, v. 71, n. 1, p.55-65, 2005.

VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, B.; GUTIÉRREZ-URIBE, J. A.; GUAJARDO-FLORES, D.; SANTOS-ZEA, L. Microencapsulation of steroidal saponins from agave sap concentrate using different carriers in spray drying. **Food Science and Technology International**, p. 10820132211049949, 2021.

VERMA, A.; SINGH, S. V. Spray drying of fruit and vegetable juices—a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 5, p. 701-719, 2015.

VILKICKYTE, G.; RAUDONE, L. Phenological and Geographical Effects on Phenolic and Triterpenoid Content in *Vaccinium vitis-idaea* L. Leaves. **Plants**, v. 10, n. 10, 1986.

WANG, Y.; XIE, Y.; XU, D.; LIN, X.; FENG, Y.; HONG, Y. Hydroxypropyl methylcellulose reduces particle adhesion and improves recovery of herbal extracts during spray drying of Chinese herbal medicines. **Drying Technology**, v. 32, n. 5, p. 557-566, 2014.

WANG, W.; JIANG, Y.; ZHOU, W. Characteristics of soy sauce powders spray-dried using dairy whey proteins and maltodextrins as drying aids. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 4, p. 724-730, 2013.

WANG, S.; KONKOL, E.; LANGRISH, T. A. Spray drying of fruit juice using proteins as additives. **Drying Technology**, v. 29, n. 16, p. 1868-1875, 2011.

WANG, N., FU, N.; CHEN, X. D. The extent and mechanism of the effect of protectant material in the production of active lactic acid bacteria powder using spray drying: A review. **Current Opinion in Food Science**, 2022.

YE, Q.; WOO, M. W.; SELOMULYA, C. Modification of molecular conformation of spray-dried whey protein microparticles improving digestibility and release characteristics. **Food Chemistry**, v. 280, p. 255-261, 2019

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo se destaca pela caracterização do mel de cacau, um coproduto com teor significativo de compostos fenólicos e açúcares naturais que pode ser conservado com qualidade por tecnologias de processamento empregadas nas indústrias de alimentos inclusive a atomização, e tem potencialidade de aplicação como ingrediente em misturas secas, bebidas, confeitarias, sobremesas e outros alimentos, além de produtos nutracêuticos.