



**INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
FRUTHOTEC**

FÁBIO SALLES DE ARÉVALO

**DESENVOLVIMENTO DE BEBIDA FUNCIONAL DE CHÁ COM SUCO DE FRUTA
ENRIQUECIDA COM COMPOSTOS FENÓLICOS DE CAFÉ VERDE**

CAMPINAS

2026

FÁBIO SALLES DE ARÉVALO

**DESENVOLVIMENTO DE BEBIDA FUNCIONAL DE CHÁ COM SUCO DE FRUTA
ENRIQUECIDA COM COMPOSTOS FENÓLICOS DE CAFÉ VERDE**

*Dissertação apresentada ao Instituto de
Tecnologia de Alimentos para obtenção do
título de Mestre em Ciência e Tecnologia de
Alimentos.*

Aluno: Fábio Salles de Arévalo

Orientadora: Sílvia Cristina Sobottka Rolim
de Moura

Coorientadora: Gisele Anne Camargo

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação defendida pelo aluno **Fábio Salles de Arévalo** e orientada pelo Prof(a). Dr(a). Sílvia Cristina Sobottka Rolim de Moura

CAMPINAS

2026

Agência(s):

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- Brasil (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

Nº do proc.: Fapesp 2020/07015-7

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha elaborada pela bibliotecária Vangri de Oliveira Camargo CRB/8 6919-0
- Núcleo de Documentação Científica do Instituto Agrônomo

A683d Arévalo, Fábio Salles de
Desenvolvimento de bebida funcional de chá com suco de fruta
enriquecida com compostos fenólicos de café verde /Fábio Salles de
Arévalo. Campinas, 2026 61 fls.

Orientadora: Sílvia Cristina Sobottka Rolim de Moura

Coorientadora: Gisele Anne Camargo

Dissertação (Mestrado) em Ciência e Tecnologia de Alimentos –
ITAL

1. Alimentos funcionais. 2. Bioativos. 3. Microencapsulação.
4. Café verde. 5, Atividade antioxidante. I. Moura, Sílvia Cristina
Sobottka Rolim de. II. Camargo, Gisele Anne. III. Título

CDD. 663.63

Título em inglês: DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL TEA-BASED DRINK WITH
FRUIT JUICE ENRICHED WITH GREEN COFFEE PHENOLIC COMPOUNDS

Key-words: bioactive compounds; functional foods; microencapsulation; green coffee

Titulação: Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos

Banca Examinadora: Sílvia Cristina Sobottka Rolim de Moura (orientadora), Gisele
Anne Camargo (coorientadora), Izabela Dutra Alvim, Larissa Consoli e Lidiane
Bataglia da Silva (suplente)

Data da Defesa: 26/02/2026

Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos

BANCA EXAMINADORA

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação de Mestrado defendida por Fábio Salles de Arévalo, aprovada pela Comissão Julgadora em 26/02/2026.

Prof.(a) Dr.(a) Sílvia Cristina Sobottka Rolim de Moura)
Fruthotec/ITAL - (Presidente)

Prof.(a) Dr.(a) Gisele Anne Camargo)
DG/ITAL - (co-orientadora)

Dr.(a) Izabela Dutra Alvim
CCH/ITAL (titular)

Dr.(a) Larissa Consoli
UFSCAR – Lagoa do Sino (titular)

Dr.(a) Lidiane Bataglia da Silva
ITAL – pós doc (suplente)

A Ata de defesa de dissertação de mestrado com as respectivas assinaturas dos membros da banca encontra-se no SIAPG-Ital/Sistema Integrado de Administração da Pós-graduação do Instituto de Tecnologia de Alimentos e na Secretaria do Programa de Pós-Graduação.

DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho aos meus pais Aroldo e Zilda,
que me criaram com amor e carinho.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pelo seu infinito amor sobre minha vida, por me guiar, por colocar pessoas em minha vida que refletem seu amor.

Agradeço a meus pais por todo apoio e ajuda, por sempre estarem ao meu lado me guiando nos caminhos de Deus.

Agradeço a minha orientadora por todo conhecimento transmitido, por toda paciência e orientação nesse trabalho.

Agradeço ao companheirismo das minhas colegas de mestrado Gabrielle, Nayara e Lara, por todos os momentos compartilhados juntos.

Agradeço as técnicas Fabiola, Jaqueline, Luzimara e Milena por toda ajuda.

Agradeço o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico- Brasil (CNPq), pela bolsa concedida e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro Processo 2020/07015-7

RESUMO

Boa parte dos compostos bioativos são encontrados em subprodutos da indústria de alimentos, os quais são descartados. Estes compostos bioativos são associados à prevenção a doenças crônicas e degenerativas, tornando-os uma boa alternativa à adição em alimentos industrializados. O café verde com defeito é um desses subprodutos, contendo teores significativos de compostos fenólicos. Compostos bioativos podem apresentar instabilidade, sendo possivelmente degradados por fatores externos como luz, calor e pH. Sendo assim, muitos autores se utilizam da técnica de microencapsulação para manter estes compostos estáveis até sua absorção no intestino. O Bubble Tea é uma bebida que vem sendo consumida por uma ampla faixa de idade; consiste em uma bebida com partículas de tapioca ou amido que podem conter suco de frutas ou extratos de vegetais. Esse trabalho teve como objetivo obter uma bebida funcional a base de chá e suco de fruta com adição de compostos bioativos extraídos do café verde com defeito, encapsulados. O método empregado foi a gelificação iônica (gotejamento simples com alginato de sódio (2%) em solução de cloreto de cálcio (3%)) seguida de recobrimento por interação eletrostática (em goma arábica (5%) acidificada – pH 3). Foram obtidos valores de fenólicos totais de 10583 mg EAG/100 g no extrato de café verde, a partícula com extrato alcançou um valor de 153 mg EAG/100 g, resultando numa eficiência de encapsulação de 41%; por sua vez a bebida apresentou 64 mgEAG/100g. Como resultado o Bubble Tea obteve o valor de 77 mgEAG/100 mL, sendo que a partícula contribuiu com 28% dos compostos fenólicos da bebida tipo Bubble Tea, um acréscimo de 40% em relação a bebida de néctar de abacaxi com chá verde, Para capacidade antioxidante por ABTS os valores encontrados foram 7,48 $\mu\text{mol TE/g}$ para a bebida, 5,10 $\mu\text{mol TE/g}$ para as partículas e 24,99 $\mu\text{mol TE}$ no Bubble Tea; para análises de capacidade antioxidante por DPPH os resultados foram 4,34 $\mu\text{mol TE/g}$ para bebida e 5,38 $\mu\text{mol TE/g}$ para as partículas. A microencapsulação de extrato de café verde pelo método de gelificação iônica seguida de recobrimento por interação eletrostática se mostrou eficiente para preservação de compostos fenólicos e sua atividade antioxidante. As partículas contendo o extrato de café verde e com defeito agregou cerca de 40% de valor de fenólicos da bebida, sendo uma tecnologia viável para a produção de alimentos funcionais. Além disso, o valor energético do Bubble

Tea foi reduzido para 8 Kcal/100 mL, bem menos que o comercial que possui 69,8 Kcal/mL. A bioacessibilidade de compostos fenólicos do Bubble Tea foi aumentada com adição das partículas, conforme sugerido pelo estudo da digestibilidade do Bubble Tea.

Palavras-chave: bioativos; alimentos funcionais; microencapsulação; subprodutos agroindustriais; atividade antioxidante.

ABSTRACT

A significant portion of bioactive compounds are found in byproducts of the food industry, which are often discarded. These bioactive compounds are associated with the prevention of chronic and degenerative diseases, making them a good alternative for addition to processed foods. Defective green coffee beans are one such byproduct, containing significant levels of phenolic compounds. Bioactive compounds can be unstable and may be degraded by external factors such as light, heat, and pH. Therefore, many authors use microencapsulation techniques to keep these compounds stable until they are absorbed in the intestine. Bubble tea is a beverage consumed by a wide age range; it consists of a drink with tapioca or starch particles that may contain fruit juice or vegetable extracts. This work aimed to obtain a functional beverage based on tea and fruit juice with the addition of bioactive compounds extracted from defective green coffee beans, encapsulated in capsules. The method employed was ionic gelation (simple dropper with sodium alginate (2%) in calcium chloride solution (3%)) followed by electrostatic coating (in acidified gum arabic (5%) – pH 3). Total phenolic values of 10583 mg GAE/100 g were obtained in the green coffee extract, the particle with extract reached a value of 153 mg GAE/100 g, resulting in an encapsulation efficiency of 41%; in turn, the beverage presented 64 mg GAE/100 g. As a result, Bubble Tea obtained a value of 77 mgEAG/100 mL, with the particle contributing 28% of the phenolic compounds in the Bubble Tea beverage, an increase of 40% compared to the pineapple nectar and green tea beverage. For antioxidant capacity by ABTS, the values found were 7.48 $\mu\text{mol TE/g}$ for the beverage, 5.10 $\mu\text{mol TE/g}$ for the particles, and 24.99 $\mu\text{mol TE}$ in Bubble Tea; for antioxidant capacity analysis by DPPH, the results were 4.34 $\mu\text{mol TE/g}$ for the beverage and 5.38 $\mu\text{mol TE/g}$ for the particles. Microencapsulation of green coffee extract by the ionic gelation method followed by electrostatic coating proved efficient for preserving phenolic compounds and their antioxidant activity. The particles containing green and defective coffee extract added approximately 40% to the phenolic content of the beverage, making it a viable technology for the production of functional foods. Furthermore, the energy value of Bubble Tea was reduced to 8 kcal/100 mL, significantly less than the commercial version which has 69.8 kcal/mL. The bioavailability of phenolic compounds

in Bubble Tea was increased with the addition of the particles, as suggested by the study on the digestibility of Bubble Tea.

Key words: bioactive compounds; functional foods; microencapsulation; agro-industrial by-products; antioxidant activity.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	viii
SUMÁRIO.....	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	2
Objetivo GERAL	2
Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Chá.....	3
3.2 Compostos fenólicos	4
3.3 café	5
3.4 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS	5
3.5 Alimento funcional	6
3.6 Encapsulação	7
3.7 <i>Bubble tea</i>	9
3.8 Métodos de estudo de digestibilidade	10
4. MATERIAL E MÉTODOS	11
4.1 Material.....	11
4.2 Caracterização do café verde com defeito	12
4.2.2 Obtenção do extrato de café	13
4.2.3.Compostos fenólicos: extração e quantificação	13
4.3 Encapsulação	15
4.4 Produção da bebida	177
4.5 Caracterização das Partículas.....	18
4.5.1 Microestrutura	188

4.5.2 Diâmetro médio e distribuição de tamanho	19
4.5.3 Eficiência da encapsulação	19
4.6 Estabilidade das partículas.....	19
4.6.1 Cor instrumental	19
4.6.2 Fenólicos totais	19
4.6.3 Atividade antioxidante	21
4.7 Estabilidade da bebida	23
4.7.1 Cor instrumental	23
4.7.2 Fenólicos totais	23
4.7.3 Atividade antioxidante	23
4.7.4 pH.....	23
4.7.5 Teor de sólidos solúveis (Brix)	23
4.8 Análises Microbiológicas do Bubble Tea.....	23
4.9 Composição centesimal do Bubble Tea	24
4.10 Estudo da digestibilidade.....	24
4.11 Métodos estatísticos.....	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1 Caracterização do café verde com defeito	25
5.2 Caracterização do extrato de café verde defeituoso	27
5.2.1 Compostos Fenólicos	27
5.3 Obtenção das partículas.....	27
5.4 Caracterização das Partículas.....	29
5.4.1 Microestrutura	29
5.4.2 Estrutura e diâmetro médio	30
5.4.3 Eficiência da encapsulação	319
5.5 Estabilidade da partícula	30
5.5.1 Cor instrumental	31

5.5.2 Fenólicos totais	33
5.5.3 Atividade antioxidante	34
5.6 Estabilidade da bebida	37
5.6.1 Cor instrumental	37
5.6.2 Fenólicos totais	38
5.6.3 Atividade Antioxidante	40
5.6.4 pH.....	42
5.6.5 Brix	43
5.7 Análises microbiológicas do Bubble Tea	44
5.8 Composição centesimal do Bubble Tea	45
5.9 Análise dos bioativos	47
5.9.1 Compostos fenólicos	47
5.9.2 Atividade antioxidante	477
5.10 Estudo da Digestibilidade	48
5.10.1 Compostos fenólicos	48
5.10.2 Atividade antioxidante	50
6. CONCLUSÕES	50
7. REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

O chá pode ser definido como um produto contendo partes de espécies vegetais com ou sem fermentação, tostadas ou não (BRASIL, 2008), além de bebidas produzidas a partir desses produtos por meio da infusão. O chá verde é um dos mais consumidos sendo uma grande fonte de compostos fenólicos (LIMA, 2008).

Os compostos fenólicos são caracterizados pela presença de anéis aromáticos com substituintes hidroxílicos, abrangendo desde estruturas simples até polímeros complexos, sendo produzidos por plantas com o intuito de defesa (COSTA et al., 2025; SOARES et al., 2008). Estes compostos têm sido de grande interesse para estudos, devido sua capacidade antioxidante, capaz de reter radicais livres, trazendo assim saúde e redução de riscos de doenças degenerativas (JAKUBCZYK, 2020).

O café possui grande relevância econômica e elevado consumo global, impulsionando estudos sobre a bioatividade dos grãos verdes e torrados. Seus constituintes, como ácidos clorogênicos e cafeína, sugerem potencial quimioprotetor. Essa característica é atribuída aos antioxidantes presentes nos grãos atuam de forma benéfica em diversos sistemas químicos e biológicos (LIMA, 2010).

A agroindústria brasileira gera anualmente 1,3 bilhão de toneladas de resíduos, cujo descarte inadequado em aterros ou incineração acarreta severos impactos ambientais, como a emissão de 3,3 bilhões de toneladas de CO₂ e a proliferação de patógenos (KOUR et al., 2023; CAPANOGLU et al., 2022). Economicamente, o desperdício representa perdas de 1 trilhão de dólares, afetando a segurança alimentar e a qualidade do ar (YAASHIKAA et al., 2022). Todavia, esses resíduos possuem elevado potencial de multivalorização (SADH et al., 2018; FREITAS et al., 2021).

Alimento funcional é um termo que surgiu no Japão em 1980, suas definições podem variar muito, geralmente englobando a ideia de um alimento que possua naturalmente ou que tenha sido adicionado de compostos que oferecem

benefícios além da nutrição básica, trazendo saúde e redução de risco de doenças (CARVALHO, 2006).

A encapsulação tem sido amplamente estudada e usada como um método eficiente para ampliar a bioacessibilidade de diversos compostos, garantindo a liberação controlada e a estabilidade de substâncias nas indústrias alimentícia e farmacêutica. A técnica protege o composto bioativo contra condições adversas como oxidação, variações de pH e degradação enzimática, além de mascarar sabores ou odores desagradáveis (DESAI, 2019).

O Bubble Tea é definido como uma bebida composta por extratos ou soluções concentradas de chá, produtos lácteos (ou substitutos vegetais) e edulcorantes. Sua formulação destaca-se pela alta versatilidade, permitindo a inclusão de diversos complementos, como pérolas de amido, geleias, cereais e coberturas proteicas, conforme a preferência do consumidor (WU et al., 2022).

Bioacessibilidade é a fração de um composto que é liberada de sua matriz alimentar dentro do trato gastrointestinal e, portanto, torna-se disponível para absorção intestinal (normalmente estabelecida a partir de procedimentos *in vitro*). O metabolismo de alimentos que contêm compostos fenólicos ocorre por meio de uma via comum e passa por reações multienzimáticas após alteração das propriedades físicas e químicas nas fases oral, gástrica e intestinal. Como a maioria dos fenólicos (exceto, por exemplo, resveratrol e curcumina) são razoavelmente solúveis em água, sua bioacessibilidade depende de sua liberação da matriz alimentar, sua retenção na fase aquosa sem complexação e precipitação com proteínas ou minerais durante a digestão (RASERA, DE CAMARGO & DE CASTRO, 2023).

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

- Elaboração de uma bebida funcional contendo chá verde, suco de abacaxi e extrato encapsulado de café verde e com defeito.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o teor de compostos fenólicos totais, ácido clorogênico e cafeína no extrato de café verde.
- Aplicar os métodos de gelificação iônica e interação eletrostática na encapsulação do extrato de café verde.
- Avaliar a aplicação do extrato de café verde encapsulado em bebida funcional.
- Avaliar a estabilidade da bebida funcional armazenada em garrafas de vidro, em temperatura de refrigeração e sob ausência de luz, por 49 dias.
- Avaliar a digestibilidade *in vitro* da bebida funcional.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 CHÁ

O chá é uma das bebidas mais importantes do mundo, sendo parte importante de diversas culturas, além de ser a segunda bebida mais consumida, perdendo apenas para a água. Desde a sua origem, as técnicas de preparo vêm sendo aperfeiçoadas ao longo dos séculos, sendo que entre 960 e 1279 foi iniciado o processo de moer as folhas até virarem um pó bem fino, o que é conhecido hoje em dia como “matcha”. Por outro lado, o aumento da divulgação dos benefícios do chá tem feito com que seu consumo aumente (CLERICE, 2022).

Entre os mais consumidos estão o chá verde e o chá preto, ambos produzidos a partir da *Camellia Sinensis L.* sendo a única diferença o processo de fermentação que o chá preto é submetido. A *Camélia Sinesis L.* é uma fonte de compostos fenólicos, dentre eles a catequina que constitui cerca de 10 a 25% de brotos e folhas mais novas (LIMA, 2008), a qual confere sabor amargo e adstringente (MATSUBARA, 2006).

3.2 COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos apresentam uma ampla gama de propriedades, desde pigmentos das mais diversas cores, até odores e sabores característicos de alimentos, estes geralmente amargos ou adstringentes. (CHEYNIER, 2005). São comumente encontrados em uma ampla variedade de leguminosas e frutas, porém produtos como o chocolate e o chá verde se destacam por serem ricos nesses compostos (MANACH et al., 2004).

Estes compostos são moléculas com uma grande variedade de classes, podendo ser divididos em função da quantidade de anéis aromáticos e das ligações entre eles. Nas plantas são metabólitos secundários que tem como finalidade a defesa contra a radiação ultravioleta ou ataque de microrganismos patogênicos. (MANACH et al., 2004).

Alguns dos compostos fenólicos são descritos como ácidos fenólicos, que são sintetizados a partir da fenilalanina e tirosina por meio da via do ácido chiquímico, que converte derivados da via das pentoses-fosfato, glicólise e precursores de carboidratos simples, em aminoácidos aromáticos. O ácido quínico é sintetizado a partir de um metabolito intermediário da via do ácido chiquímico (FARAH; DONANGELO, 2006), que por meio de sua esterificação dá origem aos ácidos clorogênicos (Figura 1), que são um conjunto de 5 compostos fenólicos; são eles ácidos cafeoilquínico, ácidos dicafeoilquínico, ácidos feruloilquínico, ácidos p-cumaroilquínico e ácidos cafeoilferuloilquínico (MONTEIRO et al., 2005).

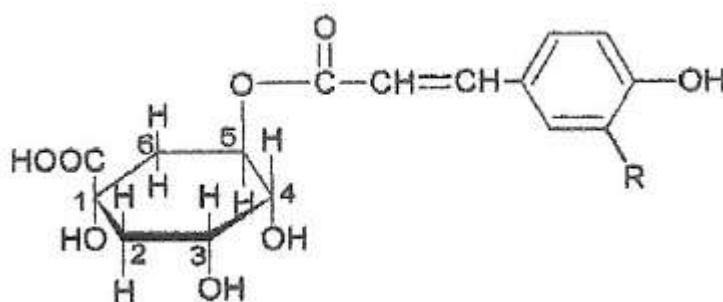


Figura 1. Estrutura moléculas ácidos clorogênicos

Estudos apontam para vários benéficos na ingestão de compostos fenólicos, como redução de efeitos nocivos da diabetes, regulação do sistema imunológico, redução de riscos de doenças cardíacas, redução de risco de desenvolvimento de hipertensão. Extratos concentrados contendo fenóis tem potencias de combate a doenças como o Alzheimer (PANCHE, 2016).

além disso existe o impacto na saúde do colón e microbiota intestinal, inibição de crescimento de microrganismos patogênicos como *Salmonella*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, além de alguns vírus como influenza e HIV (FRAGA et al., 2019).

3.3 CAFÉ

O café é uma bebida que apresenta compostos antioxidantes em sua composição, dentre eles estão os compostos fenólicos, ácido clorogênico e a cafeína. Porém, há uma presença maior de compostos fenólicos e ácido clorogênico no café verde, já que ocorrem perdas significativas após processos como torra e descafeinação, devido a complexação entre a cafeína e os ácidos clorogênicos, além da isomerização do ácido clorogênico. As perdas são mais altas no processo de torra, chegando a 18% nos polifenóis e 92% de ácido clorogênico, mostrando como são susceptíveis a degradação, principalmente por parte do aquecimento (MONTEIRO et al., 2005; LIMA et al., 2010). Fatores como genética, espécie, maturação, clima e solo, podem causar variação no teor total de ácido clorogênico nos grãos de café verde (FARAH, 2006).

3.4 RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

O Brasil é um dos principais produtores e exportadores de alimentos ao redor do mundo, e a agropecuária tem sido um dos principais pilares do crescimento da economia brasileira nas últimas décadas (MAGALHÃES et al., 2019), como resultado são gerados cerca de 291 milhões de toneladas de resíduos por ano, o que gera um grande desafio, uma vez que levam a contaminação do solo e rios e emitem gases que promovem o efeito estufa, levando a uma diminuição da qualidade de vida da região (SIQUEIRA, 2022). Há grande interesse no

reaproveitamento de resíduos, para transformação em novos produtos para se evitar desperdício e impactos ambientais, uma vez que está na agenda das Organização das Nações Unidas (2015) o desenvolvimento sustentável. O teor de compostos fenólicos pode variar para cada subproduto do café, o grão verde pode conter de 4,10% a 11,3% em base seca para arábica e canephora (FARAH, 2006), a borra pode chegar a ter 18 mg EAG/g de matéria seca (MUSSATTO, 2011) e a pele chega a carregar cerca de 3 mg EAG/g.

O estudo de matrizes ricas em compostos bioativos, como os fenólicos totais, contribui diretamente para o Desenvolvimento Sustentável, Principalmente no que diz respeito ao ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) 12 (Consumo e Produção Responsáveis). Com a caracterização de novas fontes de Bioativos Apartir de subprodutos da agroindústria, fomenta-se a criação de sistemas alimentares mais resilientes e eficientes, reduzindo o desperdício e agregando valor econômico a recursos naturais (ONU, 2015; GRIGGS et al., 2013).

3.5 ALIMENTO FUNCIONAL

Além do foco nos nutrientes básicos e na experiência sensorial dos alimentos, nos últimos anos tem se dado uma atenção maior a uma função específica de alguns alimentos, denominados alimentos funcionais. Estes estão ligados a respostas fisiológicas benéficas se ingeridos diariamente; são poderosos preventivos contra doenças e danos ao DNA (ANGELIS et al., 2001; ZERAIK et al., 2010)

O termo alimento funcional surgiu no Japão nos anos de 1980 e se referia a alimentos com a adição de determinados compostos bioativos. O alimento funcional tem como objetivo trazer benefícios a saúde de quem o consome, reforçando a ingestão de substâncias que normalmente se encontram em quantidades menores à necessária para causar um efeito benéfico, sendo este até capaz de reduzir o risco de doenças crônicas, porém não pode ser vendido como medicamento (BALDISSERA et al., 2011).

3.6 ENCAPSULAÇÃO

A aplicação direta de bioativos na matriz alimentar pode apresentar dificuldades pois estes podem ser instáveis, sendo suscetíveis a degradação durante processamento e armazenamento, levando a perdas da bioatividade (DIAS, 2015). Uma das formas de se contornar esse problema é o uso da microencapsulação, onde um composto bioativo é protegido por outro material, promovendo proteção contra fatores do meio que podem vir a degradar o composto bioativo, tais como, luz, umidade, oxigênio e interação com outros compostos, além de promover uma liberação controlada (MOURA, 2018).

A encapsulação é um meio para diversos fins, proteção de compostos contra degradação química, liberação controlada, aumento da vida útil, além de ocultar sabores adstringentes e amargos (REIS et al., 2021). Os métodos de encapsulação podem ser divididos em três grupos, físicos, físico-químicos e químicos. Métodos físicos, no qual um dos princípios se baseia na retirada de água, como spray drying e liofilização; métodos físico-químicos envolvem interação entre moléculas de cargas opostas, como a gelificação iônica e a coacervação nos métodos químicos há a interação entre moléculas por pontes de hidrogênio e forças de van der Waals, exemplos desse método são polimerização interfacial e complexação por inclusão molecular.

O método de gelificação iônica (Figura 2) se baseia na capacidade de polieletrólitos de formarem retículas ao entrarem em contato com íons de carga oposta, formando assim um hidrogel, muito utilizado para encapsular células e fármacos (YEO, 2001). Nesse método uma solução contendo o composto a ser encapsulado e um polímero é gotejada numa solução de carga oposta (ex: cálcio) formando uma rede conhecida como caixa de ovos (OZKAN et al., 2019).

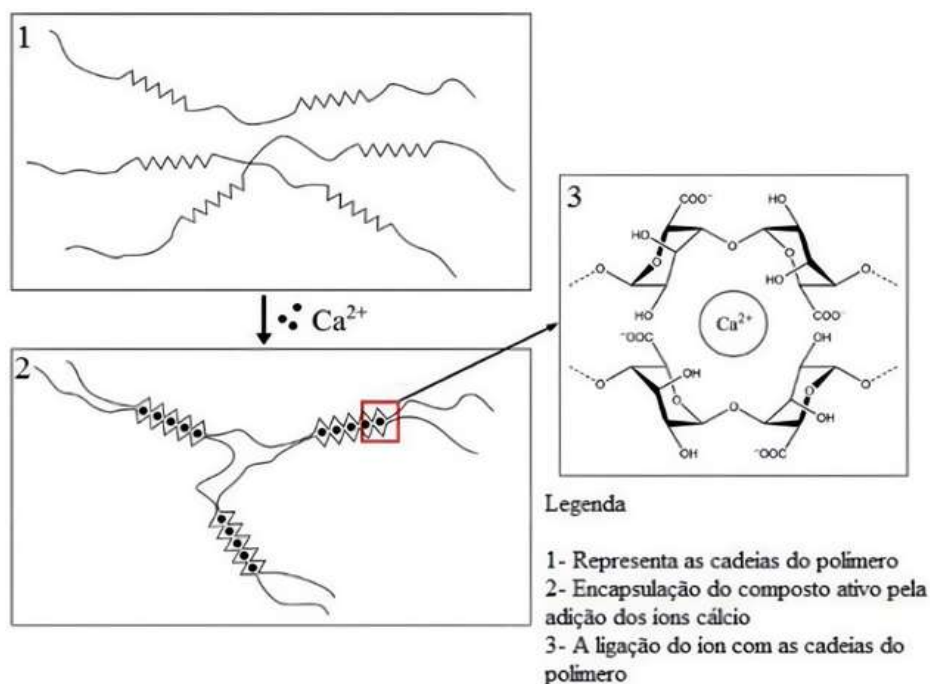


Figura 2. Processo de encapsulação por gelificação iônica
 Fonte: REIS, 2021.

Para obtenção de partículas utilizando gelificação iônica externa uma solução de biopolímero contendo o material de interesse é gotejada sobre uma solução iônica em concentrações adequadas podendo-se obter razoáveis níveis do ativo encapsulado e partículas de diferentes formas e tamanhos, como demonstrado na Figura 3.

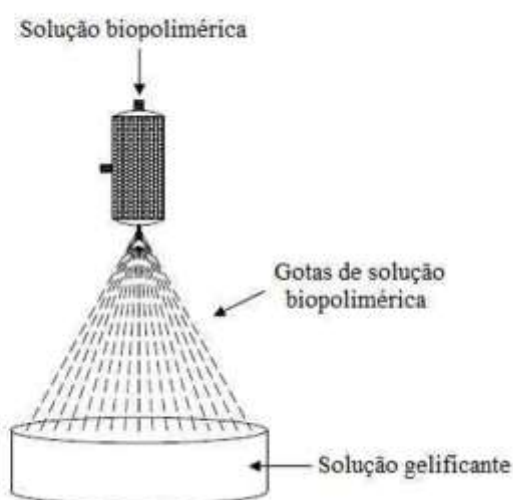


Figura 3. Produção de partículas por gelificação iônica externa.
 Fonte: Aranha, 2015

A interação eletrostática é um método utilizado para recobrimento, onde ocorrem interações eletrostáticas entre biopolímeros de cargas opostas, geralmente ocorre entre uma molécula proteica como o polieletrólito positivo e uma molécula de polissacarídeo como polieletrólito negativo. Partículas produzidas por interações eletrostáticas têm mostrado resistência à ação das enzimas da parte superior do trato gastrointestinal, mostrando-se um bom veículo para fármacos e compostos bioativos, atraindo o interesse por pesquisas para aplicações nas áreas farmacêuticas e alimentícias (ARANHA, 2015).

A formação de complexos através das interações eletrostáticas pode ser afetada pelo pH, força iônica, pela razão entre os hidrocolóides utilizados bem como pela sua concentração e pela temperatura da solução. A interação eletrostática ocorre entre as cargas dos biopolímeros, principalmente em sua superfície. A preparação de complexos polieletrólitos ocorre em meio aquoso, o que representa uma vantagem sobre os géis reticulados covalentemente e não exige o uso de catalisadores ou iniciadores (JONES; MCCLEMENTS, 2011).

3.7 BUBBLE TEA

O *Bubble Tea* (Figura 4) é uma bebida a base de chá com origem em Taiwan por volta de 1980. É uma bebida que vem sendo cada vez mais consumida por jovens e adultos, divulgada com frequência nas redes sociais, devido ser uma experiência inovadora e única de bebida. Atualmente o *Bubble Tea* é feito basicamente com leite, água, chá, açúcar e partículas de tapioca (“conhecidas como pérolas”) (TEA SHOP, 2023. One supermarket). Segundo WU (2020) a popularidade do *bubble tea* se deve ao fato dessa criação taiwanesa integrar uma bebida de duas nações diferentes, a china e a Inglaterra, e levá-la para o mundo com adição de chá e perolas de tapioca.



Figura 4. Bubble Tea

Fonte Site da empresa Bubble kill

3.8 MÉTODOS DE ESTUDO DE DIGESTIBILIDADE

Existem vários tipos de métodos de digestão *in vitro* comumente usados para alimentos; estes podem ser divididos em métodos estáticos e dinâmicos. Esses modelos visam simular as condições fisiológicas do trato gastrointestinal superior, ou seja, as fases oral, gástrica e do intestino delgado. A maioria dos modelos dinâmicos demonstrou ser adequada para simular a digestão de alimentos e produtos farmacêuticos em diferentes grupos populacionais e para diferentes finalidades (BRODKORB et al., 2019).

Apesar da padronização do protocolo INFOGEST, alguns grupos de pesquisa fizeram adaptações, que são frequentemente necessárias e precisam ser avaliadas em futuras atualizações do protocolo; no entanto, isso pode tornar a comparação de dados bastante desafiadora e demorada (RASERA, DE CAMARGO & DE CASTRO, 2023).

O uso do método INFOGEST 2.0 facilitou a análise de diferentes classes de compostos fenólicos em condições simuladas. Como uma grande vantagem, a natureza harmonizada deste protocolo permite a reprodutibilidade e a comparação com a literatura publicada; isso pode ser usado pela comunidade científica como uma ferramenta útil para determinar o comportamento de compostos alimentares

durante a digestão intestinal. (MORALES, IRIONDO-DEHOND, & FERNÁNDEZ-TOMÉ, 2025).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

O café verde e com defeitos (Figura 5) utilizado foi doado pela Brascafé Comercio Exp. e Imp. de Café, Espírito Santo do Pinhal-SP, sendo do tipo arábica da variedade catuaí vermelho da safra de 2024/2025, a classificação de defeito foi de 1 para cada 800 em uma amostragem de 300g, sendo 15% de grãos verdes e 85% de grãos defeituosos, sendo que dos defeituosos 47% são quebrados, concha e mal granado, 30% preto e ardido, 4% fundo plano, 2% pau e 2% palha.



Figura 5. Café verde e com defeito.

Para o preparo das partículas foram utilizados: alginato de sódio P.A. (Êxodo Científica, Sumaré/Brasil); cloreto de cálcio grau alimentício (Dinâmica, Diadema/Brasil), suco de limão (Natural One[®], Jarinu/Brasil), corante natural Exberry GNT[®], Mierlo/Holanda), goma arábica Instantgum BB (Nexira Brasil Comercial Ltda, São Paulo/Brasil) e gelatina Tipo B GE; gel strength 244 bloom,

(Gelita South America, São Paulo/Brasil), Para as avaliações de compostos fenólicos e atividade antioxidante foram empregados reagentes de grau analítico (PA): álcool etílico, acetona, EDTA (ácido etilenodiamino tetra-acético), cloreto de potássio, carbonato de sódio, acetato de sódio tri-hidratado, solução de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) 0,06 mM, solução de ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfônico)), persulfato de potássio, solução de Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico) 2 nM, ácido gálico, reagente Folin-Ciocalteu, brometo de potássio, cloreto de potássio, ácido clorídrico, fosfato de potássio monobásico e hidróxido de sódio (5 M).

Para produção da bebida foram empregados chá verde em sachê (marca Leão), polpa de abacaxi (DMarchi, Jundiaí/São Paulo), ácido cítrico grau alimentício, açúcar cristal (Cristal, Aparecida de Goiânia/Goiás) e água mineral.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CAFÉ VERDE COM DEFEITO

4.2.1 Caracterização do café verde com defeito

A determinação de umidade e voláteis foi conduzida conforme o método MA-CQ.025 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos), baseado em MAPA (2009). O teor de cinzas foi determinado pelo método MA-CQ.015 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos), baseado no Official Method 920.93 da AOAC (2012). Para a análise de gorduras totais, empregou-se o método MA-CQ.019 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos), fundamentado no Official Method 945.38F da AOAC (2012). A quantificação de proteínas seguiu o método MA-CQ.315 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos), baseado no método n. 037 do IAL (2005), enquanto a fibra alimentar total foi analisada pelo método MA-CQ.075 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos), conforme o Official Method 985.29 da AOAC (2012). O valor energético foi calculado com base nos fatores de conversão estabelecidos por Kalil (1975), Passmore et al. (1975) e USDA (1963).

4.2.2 Obtenção do extrato de café

A obtenção do extrato de café verde defeituoso ocorreu no grupo Centroflora, Campinas-SP, em escala piloto. A granulometria dos grãos foi padronizada em 19 mm utilizando moinho de martelos a 30 Hz (Canaan, China). Foram utilizados 10 kg de grãos moídos e 100 L de solução hidroalcoólica de etanol 50% (v/v), a mistura foi submetida à agitação constante (50Hz) sob pressão atmosférica a 65 °C por 2 horas. Em seguida o extrato foi filtrado em dois filtros de bags com malha de 100 µm e transferido para um evaporador placas (Canaan, Modelo 1700, China) onde ocorreu a concentração à vácuo (-70kPa) na temperatura de 45 ± 5°C até 55 °Brix, o processo levou cerca de 1 hora e 30 minutos.

4.2.3.1 Compostos fenólicos: extração e quantificação

Para a extração dos compostos fenólicos do extrato líquido, foi utilizada metodologia adaptada de Martini et al. (2018). 2 g do extrato de café verde foram homogeneizados com 2 mL de uma solução de metanol/ H₂O/ ácido fórmico (70%, 28% e 2%, v/v/v). Esta solução foi rapidamente homogeneizada em vórtex e centrifugada (10 000 rpm, 15 min, 4°C). O sobrenadante foi coletado e foi realizada uma nova diluição (500 µL do sobrenadante + 1,5 mL de H₂O + 2 mL metanol). Esta solução foi rapidamente homogeneizada em vórtex e centrifugada (5000 rpm, 15 min, 4°C). O sobrenadante foi coletado e filtrado (filtro de 0,45 µm, PVDF).

Para a quantificação de fenólicos totais das partículas 12 mL de solução de EDTA 0,2 M (Ácido Etilenodiamino Tetra-acético Dissódico Dihidratado) foram adicionadas 10g de partículas, a mistura foi agitada em suporte magnético (IKA, V 3 S000, 60 W, 50/60 Hz, EUA) por 30 min, em seguida foram adicionados 20 mL de etanol 70% e a mistura foi levada para homogeneização em Ultra turrax IKA (LABORATORY EQUIPAMENT, T 18 D S32, 500W, 50/60 Hz, Alemanha) 7000 rpm por 5 min. Logo depois foi levada para filtração a vácuo em Kitassato com funil de cerâmica e filtro de papel. O retido foi levado novamente para o béquer, para ser misturado com cetona 80% e repetir o processo, foram feitas seis repetições ao todo, três com etanol 70% e três com cetona 80%, alternando etanol e cetona, sendo a primeira com etanol. Após a extração o conteúdo do kitassato foi

transferido para um balão volumétrico de 100 mL. Para a bebida (néctar + chá) foram pesadas 20g e transferidas para um béquer de 100 mL, o volume foi completado até o menisco com etanol 70%.

Os compostos fenólicos presentes no extrato foram analisados por HPLC, de acordo com a metodologia descrita por Costa et al. (2025), usando Dionex Ultimate 3000 HPLC system (Dreiech, Germany) acoplado com um detector DAD e coluna C18 (3 μ m, 120 Å, 4.6 mm $\times$ 150 mm) para separação a 30 C. As fases móveis (A) H₂O/ ácido fórmico (99,9: 0,1 v/v) e (B) metanol/ ácido fórmico (99,9: 0,1 v/v) foram usadas no modo gradiente: 90% A (0–15 min), 90% A (15–25 min), 80% A (25–35 min), 80% A (35–40 min), 74% A (40–55 min), e 90% A (55–60 min). O fluxo de solvente foi de 0,5 mL/min. Os padrões utilizados para identificação e quantificação dos compostos foram da Extrasynthese: ácido clorogênico (4991S), cafeína (6034S) e ácido cafeico (6034S). Os compostos: ácido clorogênico e ácido cafeico foram quantificados no comprimento de onda de 330 nm enquanto a cafeína foi quantificada no 280 nm. A análise foi realizada em triplicata, e os resultados foram expressos em mg de equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de amostra em base úmida (bu).

4.2.3.2 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante da bebida tipo Bubble Tea e das partículas foram feitas pelos métodos de DPPH e ABTS, segundo a metodologia descrita por Jiménez-Zamora *et al.* (2016). As leituras da absorbância foram realizadas em um espectrofotômetro de UV/Visível (Varian, mod.Cary 50).

A análise da atividade antioxidante pelo método de ABTS consiste na neutralização do radical ABTS⁺ (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolína-6-ácido sulfônico)), na análise, persulfato de potássio usado como um radical intermediário, que irá reagir com o ABTS para produzir ABTS⁺, que tem absorção máxima de 734 nm, sofrendo descoloração da sua cor azul esverdeada na presença de antioxidantes, a descoloração depende do tempo, do antioxidante e da concentração da amostra. O ABTS pode ser usado tanto para compostos hidrossolúveis como lipossolúveis, uma vez que é solúvel em água e solventes

organicos, sendo amplamente usado para determinar ácidos p-hidroxibenzoicos e compostos polifenólicos (MUNTEANU,2021).

A avaliação do potencial antioxidante via DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) baseia-se na neutralização do radical livre por meio da transferência de elétrons das amostras. Esse processo promove a redução do radical, monitorada espectrofotometricamente pela descoloração da solução a 517 nm, o que serve como medida direta da atividade antioxidante. O DPPH não é um radical natural, mas o mecanismo de reação com antioxidantes é semelhante ao dos radicais peroxila. O DPPH não é solúvel em água, apenas em alguns solventes orgânicos, como metanol e etanol MUNTEANU,2021).

As medições foram realizadas em triplicata. Os resultados foram calculados utilizando curvas-padrão de Trolox® e expressos em μmol de equivalente de Trolox ($\mu\text{mol TE}$)/g de amostra em base úmida.

4.3 ENCAPSULAÇÃO

Para a encapsulação do extrato do resíduo de café verde inicialmente foi empregado o método de gelificação iônica. Para tanto foram dissolvidos 2g de alginato de sódio P.A. em 100 mL de suco de limão da Natural One, com ajuda de ultra turrax IKA (LABORATORY EQUIPAMENT, T 18 D S32, 500W, 50/60 Hz, Alemanha) por 10 segundos, apenas para misturar grosseiramente e não incorporar ar. Em outro béquer com 100 mL de suco de limão da Natural One, no intuito de conferir melhor palatabilidade as partículas, foram dissolvidos 0,8 g de corante azul natural e 0,8 g de corante amarelo natural, com objetivo de se obter a cor verde, juntamente com 3,5 g do extrato de café verde obtido na Centriflora. As duas soluções foram misturadas e levadas para ultra turrax por 30 segundos e em seguida a solução foi levada para gotejamento em solução de cloreto de cálcio grau alimentício 3% acidificada com ácido cítrico a pH 3. Para gotejamento foi utilizada uma bomba dosadora MST Tecnopon (Figura 6), e o gotejamento foi feito a 8 cm de altura, com vazão de 2 ml/min. Após todo gotejamento as partículas ficaram na solução de cloreto por 15 min. Logo após foram filtradas e lavadas com água destilada corrente para retirada do cloreto que confere sabor amargo às partículas.

Posteriormente, as partículas foram submetidas à interação eletrostática, visando avaliar o efeito de diferentes meios de recobrimento na manutenção da

cor. O experimento envolveu quatro condições: partículas sem solução, partículas submersas em solução de gelatina, goma arábica e uma mistura 1:1 de gelatina + goma arábica, acidificadas a pH 3,0, pelo tempo de 5 min. A formulação das soluções foi baseada na literatura, com 5% (massa/massa) de goma arábica e 2,5% (massa/massa) de gelatina em água deionizada, conforme metodologia descrita por Gonçalves *et al.* (2018), Figura 7.

Em seguida as partículas foram filtradas e mergulhadas em solução de sorbato de potássio 0,05% (massa/massa) por 5 min, filtradas e armazenadas sob refrigeração à $5 \pm 2^{\circ}\text{C}$. O conservante foi incorporado com o objetivo de atuar como agente antifúngico, inibindo o crescimento de leveduras e bolores, e garantindo maior estabilidade microbiológica das partículas durante o armazenamento refrigerado.



(a)



(b)



(c)

Figura 6. Esquema de gelificação por gotejamento (a) detalhe da bomba (b) e das partículas obtidas (c)



Figura 7. Imersão de partículas em solução de goma arábica 5%.

4.4 PRODUÇÃO DA BEBIDA

A bebida consiste na mistura de néctar de abacaxi com chá verde, sem adição de partículas. O primeiro passo foi o preparo do néctar de abacaxi, feito de polpa congelada. O néctar continha 30% de polpa da marca De Marchi, sendo preparado em béquer, o chá verde da marca Matte Leão foi preparado na proporção de 1 sachê (1,6g) para cada 240 mL de água em temperatura de fervura (, ficando em infusão por 5 min. O chá verde e o néctar foram misturados na proporção de 60:40, a mistura foi então acidificada até pH 3,5 com ácido cítrico em pó e adoçada com 3% (m/v) de açúcar.

Para o enchimento as garrafas de vidro foram previamente lavadas e colocadas em cestos metálicos e levadas ao tanque de pré-aquecimento, com água a 60°C. As garrafas foram então retiradas do banho e colocadas para baixo para escorrer o excesso de água sendo esta operação importante para adaptar os frascos a temperatura do produto, evitando assim, choque térmico, além de evitar contaminação do produto acabado. Em seguida foi feito o enchimento a 60 °C e o fechamento manual com tampas previamente lavadas com água clorada (Figura 8)

Para pasteurização, as garrafas de vidro foram colocadas em tacho aberto com água em ebulição por 15 minutos, por fim as garrafas foram resfriadas

gradativamente. A demora do resfriamento pode ocasionar o supercozimento no produto, causando alterações organolépticas, cor, viscosidade e perdas nutricionais (Brasil, 2021). O resfriamento foi feito em duas etapas, a primeira imergindo as garrafas em água a 60°C até o conteúdo das garrafas atingir esta temperatura, sendo feito o monitoramento através de termômetro digital, a segunda levando para um tanque com água a temperatura ambiente, sendo a temperatura final do resfriamento cerca de 37°C, permitindo assim rápida secagem da embalagem e da tampa, evitando que esta fique sujeita a corrosão. As partículas foram então adicionadas à bebida, As bebidas tipo Bubble Tea (bebida + partículas) foram armazenadas sob temperatura de refrigeração e ausência de luz.



Figura 8. Bebida tipo Bubble Tea produzido no ITAL.

4.5 CARACTERIZAÇÃO DAS PARTICULAS

4.5.1 Microestrutura

Foram capturadas imagens das partículas utilizando câmera digital Q Color3 acoplada ao microscópio estereoscópico Olympus SZX9.

4.5.2 Diâmetro médio e distribuição de tamanho

Foram feitas 100 medições, realizadas utilizando software de análise de imagem - *Image-Pro® Plus* - version 6.2 for Windows™ from Media Cybernetics.

4.5.3 Eficiência da encapsulação

O cálculo da eficiência foi feito através da equação 1, o qual indica a quantidade de ativo que efetivamente ficou retida na estrutura da micropartícula após o processamento (Kim *et al.* 2009).

$$EE(\%) = \frac{\text{polifenóis na micropartícula (mg)/100 (g)}}{\text{polifenóis adicionados na mistura (mg)/100 (g)}} \times 100 \quad (1)$$

4.6 ESTABILIDADE DAS PARTICULAS

O estudo de estabilidade foi realizado pelo período de 49 dias visando avaliar o aumento do tempo de vida útil do Bubble Tea comercial que é preparado e consumido imediatamente, não prevendo armazenagem. As partículas foram separadas da bebida (néctar + chá) por filtração em papel antes de serem avaliadas.

4.6.1 Cor instrumental

O estudo de estabilidade ocorreu a cada 7 dias, sendo a temperatura de armazenamento de entre 2 a 5°C. As avaliações colorimétricas foram feitas utilizando Chromameter CR-400 (Konica-Minolta Sensing Inc., Osaka, Japão), programado no sistema CieLab. foram avaliados pelos parâmetros L*, a*, b* e ΔE (KONICA MINOLTA, 1998), onde a amostra foi colocada em uma placa de Petris de forma homogênea sobre fundo branco, foram feitas 9 medições.

4.6.2 Fenólicos totais

Para a determinação de compostos fenólicos totais das partículas e da bebida foi utilizado o método de Folin-Ciocalteu de acordo com Erkan-Koç *et al.* (2015). Para o preparo da curva padrão (Figura 9) foi pesado 0,1 ± 0,001 g de ácido

gálico em um bequer, água destilada foi adicionada para diluição, em seguida foi transferido para um balão volumétrico de 100 mL e água destilada foi adicionada até acertar o menisco, logo após foi colocado em banho ultrassônico para diluição. Logo depois foram preparadas soluções de ácido gálico para a curva padrão com as concentrações de 40, 80, 120, 160, 200 µg/mL. Em tubos de ensaio foram adicionados 1 mL das amostras e dos padrões, juntamente com 9 mL de água destilada e 1 mL de Folin-Ciocalteu, seguido de repouso em ausência de luz por 5 min, adicionalmente 10 mL de carbonato de sódio a 7% e 4 mL de água destilada, imediatamente após os tubos foram levados para o agitador por 20 s e levados para repouso em local livre de luz por 90 min. Após esse tempo foram feitas as medições em espectrofotômetro UV/Visível de bancada (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América) na faixa de 750 nm. Para análise dos compostos fenólicos das partículas foi necessário fazer a extração dos mesmos, em um béquer foram misturados 10g de partícula e 12 mL de EDTA, a mistura foi levada para agitação em agitador magnético por 30 minutos, na etapa seguinte foi adicionado etanol 70% e misturado em ultra turrax por 5 minutos, após foi filtrado em filtro de papel em funil de cerâmica, a parte líquida foi coletada em kitassato, em seguida o retido no filtro foi coletado e colocado novamente em um bequer com adição de cetona 80% e levada a turrax por 5 minutos e filtrada em filtro de papel em funil de cerâmica, a parte líquida foi captada no mesmo kitassato, o processo foi repetido três vezes para etanol 70% e três vezes para cetona 80%.

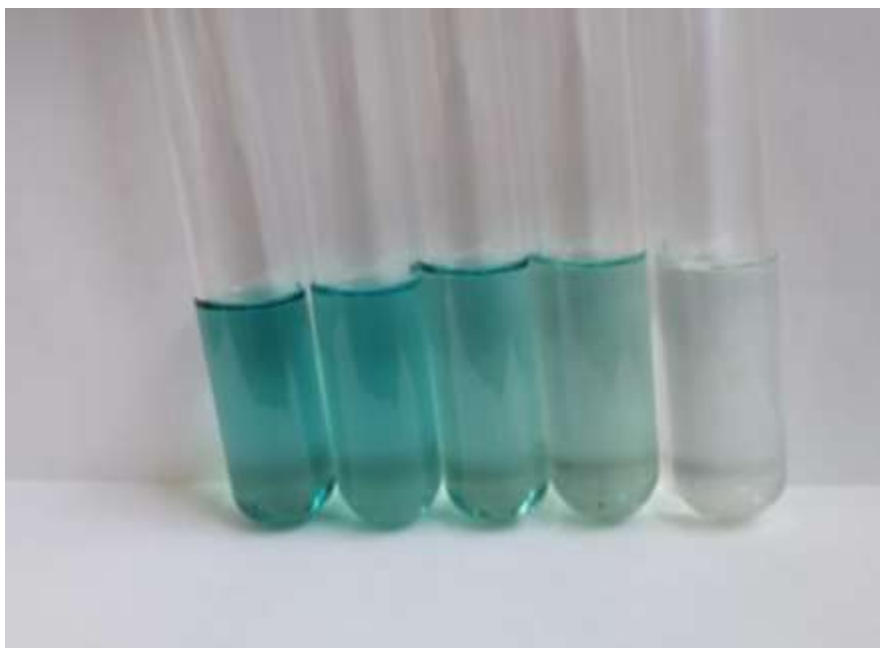


Figura 9. Curva Padrão de ácido gálico

4.6.3 Atividade antioxidante

A atividade antioxidante pelos métodos de DPPH e ABTS foi realizada segundo a metodologia descrita em JIMÉNEZ-ZAMORA et al. (2016).

Para a análise de ABTS foram utilizadas, 90 μ L das amostras e dos padrões de Trolox (Figura 10) com as concentrações de 100, 500, 1000, 1500, 2000 μ M foram pipetadas junto com 9 mL de radical ABTS em tubos de ensaio em triplicata (exceto os padrões), em seguida agitação em agitador de bancada e repouso em abrigo da luz por 6 min. Após esse período foram levadas para análise na faixa de 734 nm em espectrofotômetro de bancada UV/Visível (Agilent Technologies, Cary 60 MY13110012, Estados Unidos da América).

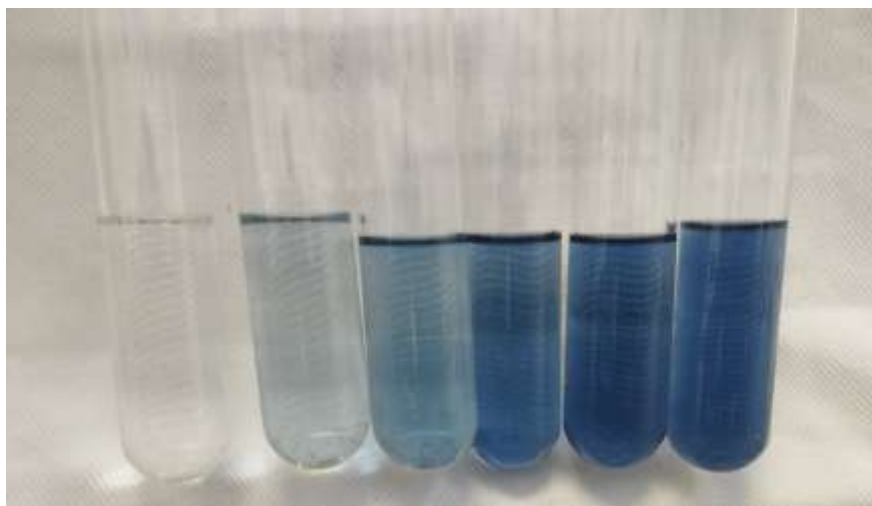


Figura 10. Curva padrão de Trolox para ABTS.

Na análise de DPPH as amostras foram colocadas em tubos de ensaio foram pipetadas 0,1 mL da amostra em triplicata e dos padrões de Trolox e 3,9 mL de solução de DPPH diluída em metanol 80% (Figura 11), em seguida agitação em agitador e repouso por 1 hora em abrigo de luz. Após as amostras foram levadas para leitura em espectrofotômetro na faixa de 515 nm.



Figura 11. Curva padrão de Trolox para DPPH.

4.7 ESTABILIDADE DA BEBIDA (chá + néctar)

Por se tratar de uma bebida de consumo imediato, não é encontrada industrializada. Diante desse fato foi optado por não fazer o estudo de estabilidade por um tempo longo, sendo o tempo total analisado de 49 dias.

4.7.1 Cor instrumental

De acordo com item 4.6.1

4.7.2 Fenólicos totais

De acordo com item 4.6.2.

4.7.3 Atividade antioxidante

De acordo com item 4.6.3.

4.7.4 pH

Medido em potenciômetro (Digimed, modelo DM 20, Brasil) de acordo com metodologia descrita em Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

4.7.5 Teor de sólidos solúveis (Brix)

Leitura em um refratômetro de bancada (Abbe Refractometer, modelo 10450, EUA), utilizando metodologia IAL (2005).

4.8 ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS DA BEBIDA TIPO BUBBLE TEA

Foram feitas análises microbiológicas para verificação segurança do Bubble Tea, sendo feita contagem de *Salmonella* por método MA-CQ.275 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos) baseado em AOAC (2012), *Bacillus cereus* presuntivo pelo método MA-CQ.009 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (Instituto de tecnologia de Alimentos), segundo a ISSO (2020), Enterobactérias segundo AOAC (2019), Contagem total de aeróbios

mesófilos segundo Compendium APHA (2015)), Bolores e leveduras pelo método MA-CQ.270 do centro de qualidade de alimentos do ITAL (instituto de tecnologia de alimentos), segundo APHA (2015).

4.9 COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA BEBIDA TIPO BUBBLE TEA

De acordo com item 4.2.1

4.10 ESTUDO DA DIGESTIBILIDADE

A digestibilidade foi realizada segundo o Protocolo Infogest (BRODKORB et al, 2019, MORALES, IRIONDO-DEHOND & FERNÁNDEZ-TOMÉ, 2015 e RASERA, DE CAMARGO & DE CASTRO, 2023), foram preparadas 3 amostras, amostra A contendo 300 mL de bebida com 50 g de partículas, amostra B contendo 300 mL de H₂O Milli-Q com 50 g de partículas e amostra C contendo apenas a bebida, amostra A e B foram submetidas a homogeneização em liquidificador na função pulse, de maneira que o rompimento simulasse o processo de mastigação.

A enzima α -amilase foi preparada pesando 352 mg individualmente em eppendorfs, sendo 10 no total, para preparo da solução de pepsina foram pesados 93,28 mg de pepsina seguido de diluição em 6,6 mL de H₂O Milli-Q, a solução de pancreatina foi feita através da pesagem de 14469,84 mg de pancreatina, seguida da diluição em 110 mL de SiF, a mistura foi levada para agitador em vórtex por 10 segundos para garantir a suspensão do pó, em seguida a solução de pancreatina foi submetida a ultrassom por 5 min em banho maria a temperatura ambiente, sequencialmente a solução foi levada para centrifuga por 5 minutos a 3000 G, o sobrenadante foi coletado em tubo falcon e reservado. Para a solução da enzima bile foram misturados 5654 mg de bile com 27,5 mL de SiF, a mistura foi homogeneizada em vórtice até diluição completa do pó.

Para a fase oral 5 g de cada amostra foram pesadas e adicionadas a tubos falcon de 50 mL, juntamente com 4 mL de fluido salivar simulado, o pH da solução foi ajustado para 7,0, logo após foram adicionados 25 μ L de CaCl₂ 0,3 M (concentração de 1,5 mM), 352 mg de α -amilase salivar (para atingir uma

concentração de 75 U/mL), por fim, H₂O Milli-Q foi adicionada até completar o volume de 10 mL, a solução foi incubada por 2 minutos a 37 °C e pH 7,0, os tubos contendo as soluções foram colocados em banho de gelo ao final para parar a reação enzimática.

Na fase gástrica foram adicionados 8 mL de fluido gástrico simulado (SFG), o pH foi ajustado para 3,0 por adição de HCl 6M, em seguida 5 µL de CaCl₂ foram adicionados juntamente com H₂O Milli-Q para se atingir uma concentração de 0,15 mM no SFG, em seguida 600 µL da solução de pepsina foram adicionados e levados para incubação a 37 °C e pH 3 por 2 horas, ao fim os tubos foram colocados em banho de gelo para interromper a reação enzimática.

A fase intestinal se inicia com 3,5 mL de fluido intestinal simulado (SIF), o pH foi ajustado para 7,0, em seguida foram adicionados 40 µL de CaCl₂ juntamente com H₂O Milli-Q, 10 mL de pancreatina (quantidade necessária para alcançar uma atividade de Tripsina de 100 U/mL no volume final da fase intestinal) e 2,5 mL de solução de bile, as amostras foram então incubadas a 37°C e pH 7,0 por 2 horas, ao fim os tubos foram colocados em banho de gelo para interromper a reação enzimática. Após todo o processo de digestão as amostras foram submetidas a centrifugação a 10000 rpm a 15 min e 4°C, em seguida foram transferidas para tubos falcon de 15 mL.

4.11 Métodos estatísticos

Os resultados foram avaliados estatisticamente através da Análise de Variância (ANOVA) e do Teste de Tukey no nível de 5% de significância, com o auxílio do programa com o auxílio do programa STATISTICA® versão 14.1.0.8 – 2023.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização do café verde com defeito

A Tabela 1 apresenta os resultados de composição centesimal do café verde com defeito. Os resultados foram 8,34 g/100g para umidade e voláteis, dentro do encontrado na literatura de entre 7,05 e 12,19 g/100g (SANTOS, 2025), 4,7

g/100g para cinzas, valores de 3% a 5% podem ser encontrados na literatura (ESQUIVEL, 2012), 12,34 g/100g de gordura, valor mais alto do que o encontrado por Santos (2025) de 5 g/100g, os valores pode variar entre 8% a 18% em base seca (ESQUIVEL, 2012), para proteína o valor obtido foi de 14,85 g/100g, este pode variar de 9% a 12% (ESQUIVEL, 2012), nas fibras o valor encontrado esta dentro do encontrado por Santos (2025) de 55,87 a 68,8 g/100g. por fim o carboidrato apresentou valor de 10,42 g/100g se enquadrando no descrito pela literatura de 6,73 a 19,48 (SANTOS, 2025).

Tabela 1. Composição centesimal do café verde com defeito em base úmida.

Determinação	Resultado
Umidade e voláteis (g/100g)	8,34 ± 0,01*
Cinzas (g/100g)	4,7 ± 0,04*
Gorduras totais (g/100g)	12,34 ± 0,02*
Proteína (Nx5,75) (g/100g)	14,85 ± 0,24*
Fibra alimentar (g/100g)	49,35 ± 1,05*
Carboidratos (g/100g)	10,42 **
Valor energético (kcal/100g)	212 ***

* Média e estimativa de desvio padrão.

** Calculado por diferença: 100 - (g/100g umidade + g/100g cinzas + g/100g gorduras totais + g/100g proteína+ g/100g fibra alimentar total).

*** O valor energético da amostra foi calculado pela soma das porcentagens de proteína e carboidratos multiplicados pelo fator 4 (kcal/g) somado ao teor de gorduras totais multiplicado pelo fator 9 (kcal/g).

O teor de proteína da amostra foi calculado pela multiplicação do teor de nitrogênio total por um fator específico (N x 5,75) para conversão do nitrogênio em proteína. Esta análise não diferencia o nitrogênio de origem proteica e não proteica (melatonina, ácidos nucleicos, aminoácidos livres, amino açúcares, aminas, amidas, BCAA livre, cafeína, glutamato monossódico, íons amônio, porfirinas, taurina, ureia, vitaminas, entre outras), além de não permitir identificar a origem da proteína utilizada. Para correta interpretação do resultado da proteína, devem ser consideradas todas as fontes de nitrogênio no produto. O método utilizado na determinação de Fibra Alimentar Total, Solúvel e Insolúvel quantifica parcialmente polissacarídeos tais como maltodextrina, amido resistente, amido modificado, polidextrose, inulina e frutooligossacarídeos.

5.2 Caracterização do extrato de café verde defeituoso

5.2.1 Compostos Fenólicos

O extrato de café verde apresentou 10583,58 mgEAG/100g em base úmida ou 23519,07 mgEAG/100g em base seca de compostos fenólicos totais, esse valor chega a ser 10 vezes o encontrado em chocolates 70% (ISHAK, 2025). A Tabela 2 apresenta os resultados de compostos com atividade antioxidante do extrato de café, realizados por HPLC. A concentração de ácido cafeico foi de $12,54 \pm 2,04$ µg/ mg, para ácido clorogênico o valor foi de $121,68 \pm 19,97$ µg/ mg, valores de 177 µg/ mg foram encontrados por Dias (2024) em extrato liofilizado. Para cafeína o valor encontrado foi de $51,84 \pm 7,69$ µg/ mg, valor este acida do reportado por Dias (2024) de 27,2 µg/ mg em extrato liofilizado.

Tabela 2. Compostos antioxidantes do extrato de café verde e com defeitos.

Determinação	Resultado
Ácido cafeico (µg/ mg)	$12,54 \pm 2,04$
Ácido clorogênico (µg/ mg)	$121,68 \pm 19,97$
Cafeína (µg/ mg)	$51,84 \pm 7,69$

5.3 Obtenção das partículas

Após o preparo das partículas com alginato foi observado que as mesmas estavam perdendo/exsudando uma parte do líquido de sua constituição, no intuito de formar uma barreira para reter a perda de líquidos, foi aplicada a técnica de interação eletrostática nas partículas após seu preparo.

A princípio foram avaliadas quatro condições (Figura 12) com o intuito de avaliar o efeito de diferentes materiais de recobrimento para uso na interação eletrostática para manutenção da cor e retenção do material encapsulado. As condições foram: partícula sem solução, partículas submersas em solução de gelatina, partículas submersas em solução de goma arábica e uma solução contendo gelatina e goma arábica (1:1), ambas as soluções foram acidificadas a pH 3,0, o tempo em que as partículas ficaram submersas foi de 5 min. A

formulação das soluções foi baseada na literatura, com 5% (m/m) de goma arábica e 2,5% (m/m) de gelatina em água deionizada (GONÇALVES *et al.*, 2018). Foram feitas análises de cor (Tabela 3) no intuito de analisar a absorção de cada condição. As partículas sem revestimento apresentaram mais luminosidade ($L^* = 36,1$) e um acentuamento na cor verde ($a^* = -10,9$). A partícula com revestimento de goma arábica apresentou a menor luminosidade ($L^* = 29,6$) e verde mais atenuado ($a^* = -3,17$), sugerindo a absorção da solução por parte da matriz polimérica externa, alterando sua tonalidade final. Esse comportamento confirma o papel da interação eletrostática na interação entre o revestimento e os compostos hidrossolúveis, afetando diretamente os parâmetros visuais, assim a cobertura de goma arábica (Figura 13) foi a escolhida para produção das partículas da bebida tipo Bubble Tea.

Tabela 3. Colorimetria após o recobrimento por interação eletrostática.

Partículas	L^*	a^*	b^*
Sem recobrimento	$36,1 \pm 1,05^a$	$-10,9 \pm 0,28d$	$7,46 \pm 1,27^a$
Solução goma arábica 5%	$29,6 \pm 2,36d$	$-3,17 \pm 0,36a$	$0,13 \pm 0,56d$
Solução Gelatina 2,5%	$31,2 \pm 1,04c$	$-5,16 \pm 0,2c$	$0,69 \pm 0,16b$
Solução Gelatina 2,5% e Goma arábica 5%	$33,4 \pm 1,75b$	$-4,53 \pm 0,33b$	$0,57 \pm 0,37c$

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)



Figura 12. Condições de recobrimento por método de interação eletrostática.



Figura 13. Aparência final das partículas com recobrimento de goma arábica.

5.4 Caracterização das Partículas

5.4.1 Microestrutura

Imagens das partículas (Figura 14) com aumento de 15 vezes. As partículas apresentaram formato esférico irregular, cor esverdeada devido ao agente de cor utilizado e com aglomerados de partículas menores em seu interior

sendo esta característica típica de partículas geradas por gelificação iônica. (MOURA et al., 2018).

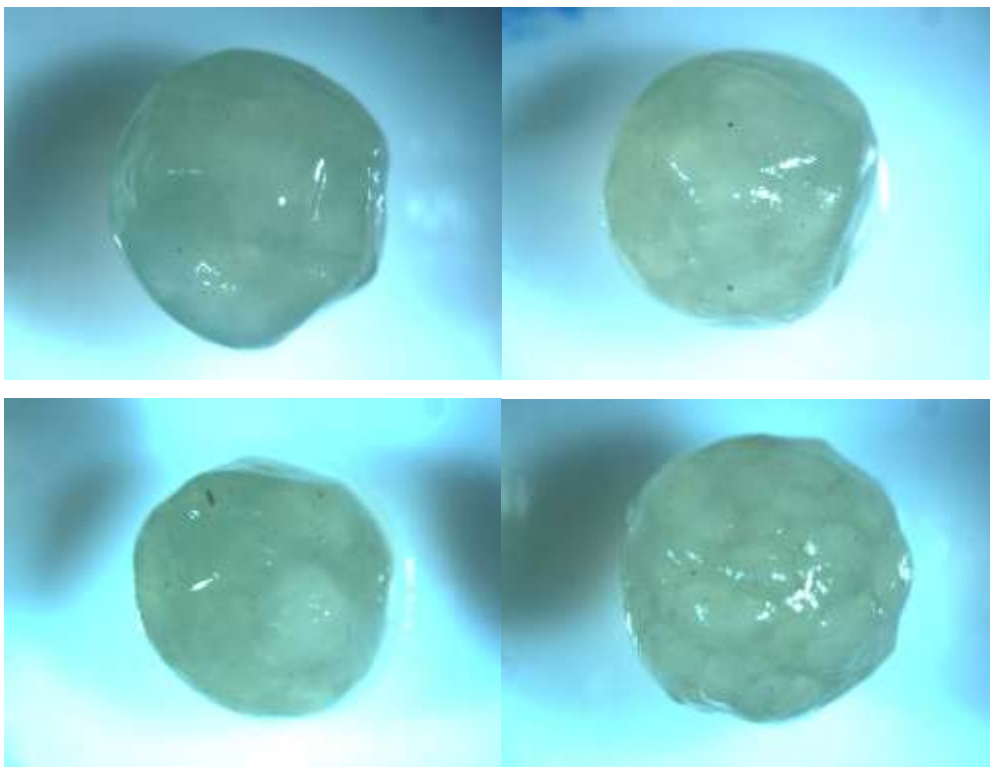


Figura 14. Partículas com aumento de 15x.

5.4.2 Estrutura e diâmetro médio

Não houve aglomeração de partículas indicando uma boa frequência do gotejamento da bomba dosadora. O diâmetro médio foi feito com a utilização do software de imagem *Image-Pro® Plus* - version 6.2 for Windows™ from Media Cybernetics, por meio da medição de 100 partículas, o diâmetro médio encontrado foi de $4,35 \pm 0,24$ mm, se enquadrando na categoria de microencapsulação (entre $0,2-5000\mu\text{m}$) (Reis, 2021), o diâmetro alcançado foi menor que a metade do diâmetro encontrado nas partículas comerciais do Bubble Tea (Figura 15) que apresentaram diâmetro de $10,83 \pm 0,0$ mm. Além disso a partícula apresentou umidade de 92%, a alta umidade já era esperada para esse processo de encapsulação, valores próximos como podem ser encontrados na literatura (BUDIN et al., 2023).



Figura 15. Bubble Tea comercial.

5.4.3 Eficiência da encapsulação

A encapsulação atingiu uma eficiência de 41%, valor próximo do encontrado por Budin (2023) de 45%, a eficiência pode variar conforme o método utilizado, o diâmetro das partículas e a forma de incorporar o agente encapsulado, dependendo do método utilizado, Ozkan (2019) relata eficiência de até 60% com gelificação iônica e Zabot (2022) de 43% por método de nano precipitação.

5.5 Estabilidade da partícula

5.5.1 Cor instrumental

O sistema CIELAB (Figura 16) usa duas coordenadas a^* e b^* e um índice de luminosidade L^* , para o parâmetro a^* valores positivos representam cores avermelhadas e valores negativos cores esverdeadas, o parâmetro b^* assume cores amareladas quando positivo e cores azuladas quando negativo, e por fim o parâmetro L^* que varia do preto (0) ao branco (100), outro parâmetro importante é a diferença total de cor ΔE , ele mede a distância do módulo do vetor entre o valor final e o inicial (PANTHARE, 2013).

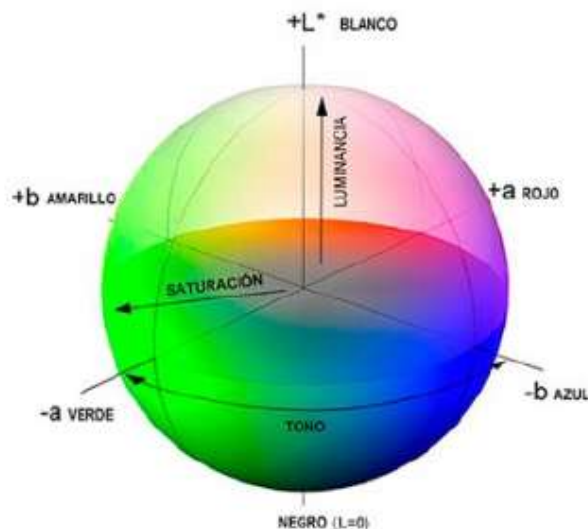


Figura 16. Sistema de cores CIELAB.

O valor negativo do parâmetro a^* obtido nas partículas (Tabela 4) indica a coloração esverdeada, os valores de b^* positivos indicam a coloração mais amarelada e o L^* próximo dos 40 indica uma coloração levemente escura. A partícula apresentou um ΔE máximo de 4,16 no dia 21. Segundo Mokrzyck (2011) esse valor indica uma variação perceptível ao olho humano, porém para micropartículas esse valor não indica uma mudança significativa na coloração durante os 49 dias de estocagem sob refrigeração (Figura 17).

Tabela 4. Estabilidade da cor da partícula.

Tempo (dias)	L^*	a^*	b^*	ΔE
0	$39,42 \pm 1,68^{bdc}$	$-8,64 \pm 0,42^{bc}$	$9,49 \pm 0,54^a$	0,00
7	$42,59 \pm 2,07^a$	$-8,82 \pm 0,52^c$	$7,48 \pm 0,94^b$	3,76
14	$38,15 \pm 1,97^d$	$-8,14 \pm 0,31^b$	$5,74 \pm 0,71^c$	3,99
21	$38,88 \pm 0,95^d$	$-8,18 \pm 0,13^b$	$5,39 \pm 0,17^c$	4,16
28	$41,26 \pm 0,78^{ab}$	$-8,5 \pm 0,41^{bc}$	$7,58 \pm 1,19^b$	2,66
35	$39,32 \pm 1,55^{bdc}$	$-8,39 \pm 0,43^{bc}$	$7,59 \pm 0,58^b$	1,92
42	$39,71 \pm 0,72^{bdc}$	$-7,47 \pm 0,27^a$	$7,76 \pm 0,63^b$	2,11
49	$40,90 \pm 0,95^{abc}$	$-7,38 \pm 0,28^a$	$8,82 \pm 0,53^a$	2,06

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

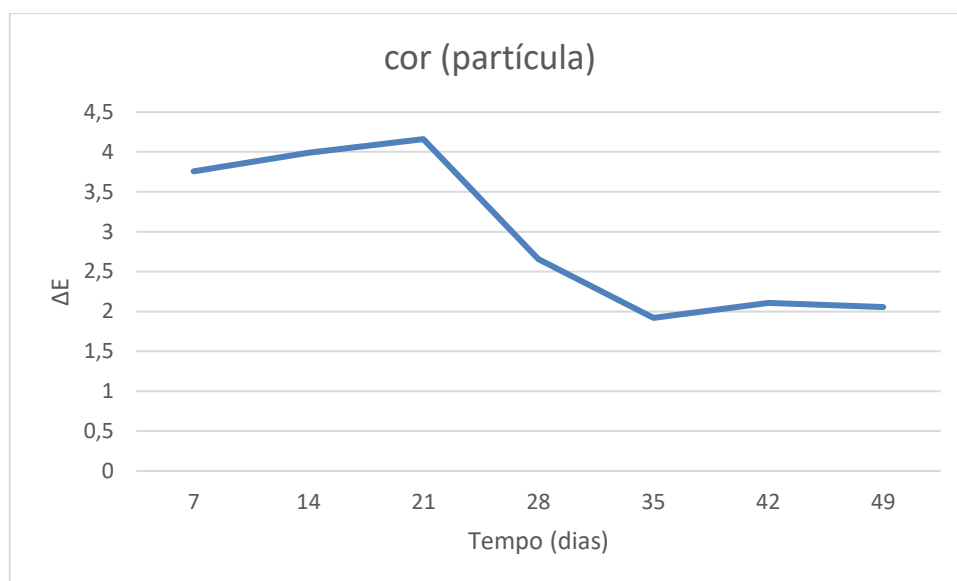


Figura 17. Gráfico da estabilidade da cor da partícula.

5.5.2 Fenólicos totais

A escolha do solvente na extração tem grande impacto na quantificação de fenólicos totais, a acetona costuma ser o mais eficiente, seguido o álcool e por fim o metanol, que costuma funcionar mais em casos específicos (ROCHA et al., 2011). A concentração de fenólicos na partícula (Tabela 5) logo após a encapsulação foi de 153,61 mgEAG/100g em base umida, maior que o obtido por Budin et al. (2023) de 87,86 mgEAG/100g, houve uma diminuição na quantidade de fenólicos na primeira semana de armazenamento em aproximadamente 30%, caindo para 109,18 mgEAG/100g, esse comportamento é chamado na literatura de liberação súbita, onde ocorre uma grande liberação nos primeiros dias após a encapsulação, fazendo com que haja uma perda do composto encapsulado, provavelmente ocorre devido a porosidade da partícula, permitindo os compostos encapsulado seja liberados antes do tempo e pode variar conforme o peso molecular do material encapsulante (HUANG, 2001).

Do 7º dia em diante houve pequenas variações no valor dos fenólicos, indicando uma boa proteção dos compostos fenólicos por parte da encapsulação durante os 49 dias de estocagem sob refrigeração como o esperado, uma vez que extratos puros são suscetíveis à degradação por temperatura, sendo que quanto menor a temperatura mais longo é o período de armazenamento, outro fator

pertinente é a luz, sua exposição está diretamente relacionada a perdas significativas (BUDIN, 2023).

Tabela 5. Estabilidade dos compostos fenólicos das partículas.

Tempo (dias)	Fenólicos partículas (mgEAG/100g)
0	153,61±0,95 ^a
7	109,18 ±2,97 ^b
14	112,21 ±0,75 ^b
21	109,34 ±0,21 ^b
28	99,78 ±0,99 ^{de}
35	100,41 ±0,32 ^{cd}
42	97,22 ±0,19 ^e
49	103,28 ±1,62 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

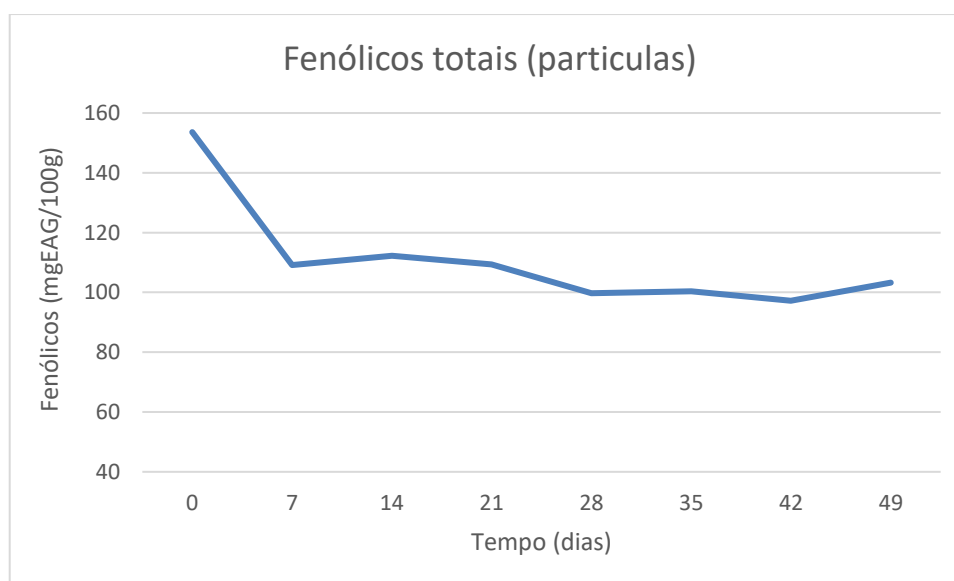


Figura 18. Gráfico da estabilidade dos compostos fenólicos das partículas.

5.5.3 Atividade antioxidante

Na Tabela 6 estão os dados obtidos para ABTS, o valor inicial foi de 5,10 $\mu\text{mol TE/g}$, esse valor junto ao valor do dia 42 (13,68 $\mu\text{mol TE/g}$) foram

considerados erros analíticos, o gráfico 17 foi construído com a ausência desses pontos. No dia 7 a atividade encontrada foi de 10,96 $\mu\text{mol TE/g}$, indicando a atividade antioxidante dos compostos fenólicos presentes na partícula, valores de 4,39 $\mu\text{mol TE/g}$ foram encontrados por Budin et al., (2023) em encapsulação por gelificação iônica de extrato de erva-mate, após o dia 7 a atividade antioxidante apresentou uma tendencia de queda, indo de 10,96 $\mu\text{mol TE/g}$ para 8,63 $\mu\text{mol TE/g}$ no fim da análise, uma queda de aproximadamente 22% na atividade antioxidante, mostrando que a encapsulação conseguiu manter a atividade antioxidante.

Para o DPPH (Tabela 7) o valor logo após encapsulação foi de 5,38 $\mu\text{mol TE/g}$. valor próximo ao obtido por BUDIN et al (2023) de 3,13 $\mu\text{mol TE/g}$ em extrato de erva mate encapsulado. Os valores obtidos no dia 21 (7,48 $\mu\text{mol TE/g}$) e dia 49 (5,54 $\mu\text{mol TE/g}$) foram considerados erros analíticos uma vez que não foi encontrada justificativa para esse comportamento na literatura. Assim como no ABTS, o DPPH apresentou uma queda de 42% comparando o primeiro com o último dia (3,17 $\mu\text{mol TE/g}$), mas ainda indicando a preservação da atividade antioxidante.

O método de ABTS estima melhor a capacidade antioxidante se comparada ao método de DPPH, principalmente em frutas, vegetais e bebidas com compostos hidrofílicos e lipofílicos, assim sendo mais confiável (FLOEGEL, 2011). Ambas as análises de antioxidantes demonstraram que a encapsulação conseguiu preservar relativamente a atividade antioxidante no decorrer de 49 dias como o esperado.

Tabela 6. Estabilidade da atividade antioxidante pelo método de ABTS das partículas.

Tempo (dias)	ABTS partícula ($\mu\text{mol TE/g}$)
0	5,10 $\pm$ 0,12 ^d
7	10,96 $\pm$ 10,96 ^b
14	10,40 $\pm$ 0,09 ^b
21	8,66 $\pm$ 0,07 ^c
28	8,52 $\pm$ 0,48 ^c

35	9,03 ±0,5 ^c
42	13,68 ±0,37 ^a
49	8,63 ±0,28 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

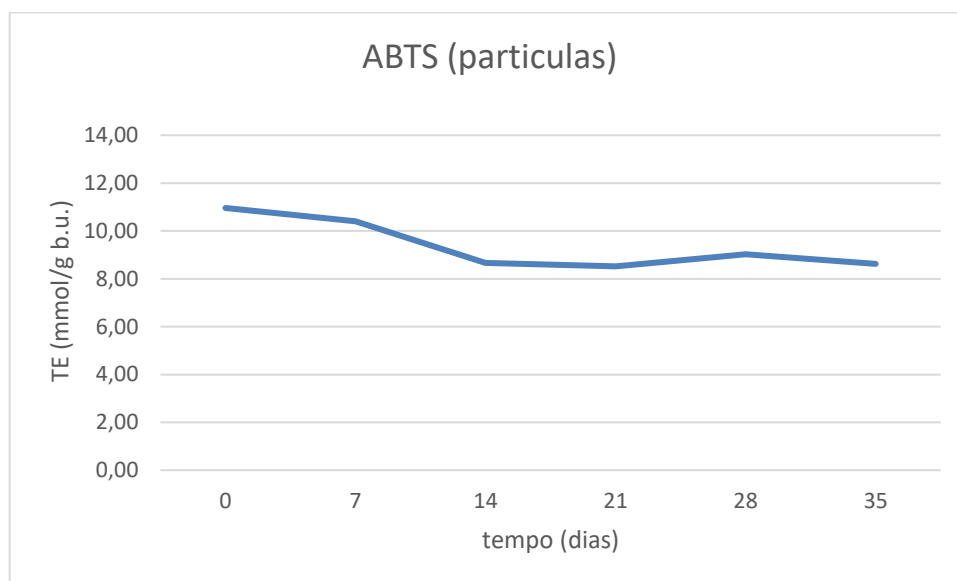


Figura 19. Gráfico da estabilidade da atividade antioxidante pelo método ABTS das partículas.

Tabela 7. Estabilidade da atividade antioxidante pelo método de DPPH das partículas.

Tempo (dias)	DPPH partícula (μmol TE/g)
0	5,38 ±0,22 ^b
7	4,26 ±0,24 ^d
14	5,27 ±0,63 ^{bc}
21	7,48 ±0,18 ^a
28	4,07 ±0,10 ^d
35	4,8 ±0,10 ^c
42	3,17 ±0,28 ^e

49	5,54 ±0,18 ^b
----	-------------------------

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

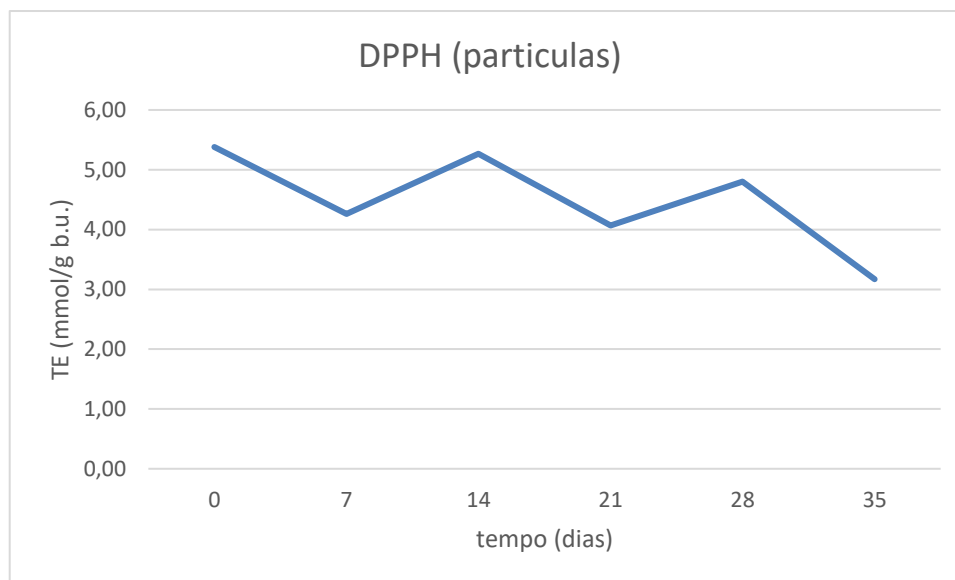


Figura 20. Gráfico estabilidade da atividade antioxidante pelo método de DPPH das partículas.

5.6 Estabilidade da bebida (chá + néctar)

5.6.1 Cor instrumental

A Tabela 8 mostra os parâmetros iniciais de 28,07, -1,34 e 4,51 para L^* , a^* e b^* respectivamente, valores de 30,41, -2,38 e 8,7 foram encontrados por Miranda et al. (2015) em néctar de abacaxi com 50% de polpa. A cor da bebida apresentou um ΔE máximo de 3,34, indicando que não ocorreu variação perceptível, segundo Mokrzyck (2011), durante os 49 dias de estocagem sob refrigeração. Houve diferença significativa nos valores de L^* , indicando que ocorreu um clareamento, o parâmetro a^* apresentou um pequeno aumento de -1,34 para -1,07, indicando um leve avermelhamento, enquanto b^* aumentou de 4,51 para 5,55, indicando leve amarelamento.

Tabela 8. Estabilidade da cor da bebida.

Tempo (dias)	L*	a*	b*	ΔE
0	28,07 $\pm$ 0,22 ^d	-1,34 $\pm$ 0,06 ^d	4,51 $\pm$ 0,17 ^d	0
7	29,96 $\pm$ 1,83 ^{ab}	-0,87 $\pm$ 0,22 ^a	5,31 $\pm$ 0,24 ^c	2,11
14	29,48 $\pm$ 0,22 ^{bc}	-0,91 $\pm$ 0,03 ^{ab}	5,39 $\pm$ 0,12 ^{bc}	1,72
21	30,59 $\pm$ 0,49 ^{ab}	-1,24 $\pm$ 0,07 ^d	5,18 $\pm$ 0,26 ^c	2,61
28	28,3 $\pm$ 1,62 ^{cd}	-1,27 $\pm$ 0,18 ^d	5,73 $\pm$ 0,17 ^{ab}	1,24
35	30,8 $\pm$ 0,4 ^a	-1,31 $\pm$ 0,07 ^d	5,78 $\pm$ 0,41 ^{ab}	3,01
42	31,01 $\pm$ 0,6 ^a	-1,04 $\pm$ 0,05 ^{cb}	6,07 $\pm$ 0,33 ^a	3,34
49	29,52 $\pm$ 0,7 ^b	-1,07 $\pm$ 0,05 ^c	5,55 $\pm$ 0,21 ^{cb}	1,80

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

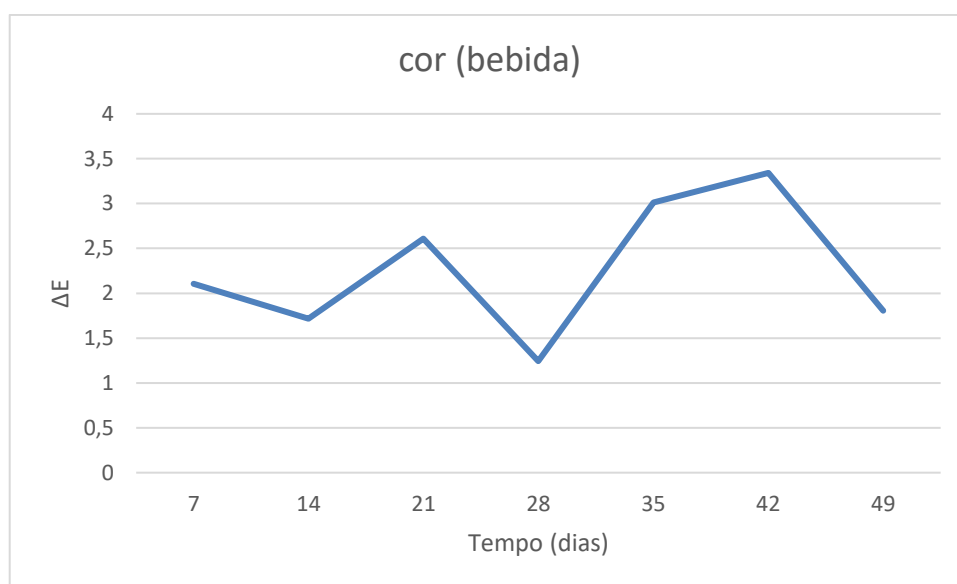


Figura 21. Gráfico Estabilidade da cor da bebida.

5.6.2 Fenólicos totais

O valor inicial da bebida (tabela 9) foi de 64,28 mgEAG/100g, na literatura podem ser encontrados valores entre 19 e 23,55 mgEAG/100g (ALVARENGA et al., 2016; ANDRADE, 2013) para o mesmo tipo de bebida com as mesmas proporções de néctar de abacaxi e chá verde, essa diferença pode ser dar devido a liberação de compostos fenólicos do extrato de café verde das partículas, além

do teor de compostos fenólicos mudar conforme as variedades do abacaxi e do chá verde (FARIAS, 2021; SHAPE, 2016). A partir do 14º. dia apresentou uma queda no valor de fenólicos indo de 64,01 mgEAG/100g para 59,48 mgEAG/100g, sendo o valor mais baixo de 53,53 mgEAG/100g no dia 42, sendo uma perda de 17%, provavelmente ocasionada pelo meio ácido (KLIMCZAK, 2007).

Tabela 9. Estabilidade dos compostos fenólicos da bebida.

Tempo (dias)	Fenólicos bebida (mgEAG/100g)
0	64,28 ±0,51 ^a
7	62,41 ±0,42 ^{ab}
14	64,01 ±1,24 ^a
21	62,36 ±0,43 ^{ab}
28	59,67 ±0,05 ^c
35	60,88 ±1,14 ^{cb}
42	53,53 ±0,88 ^d
49	59,48 ±0,56 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

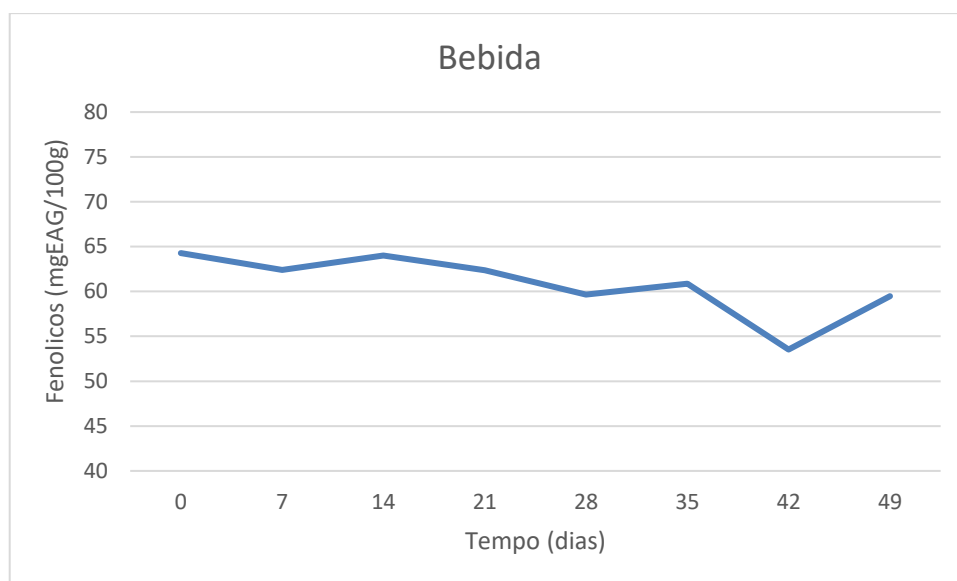


Figura 22. Gráfico da estabilidade dos compostos fenólicos da bebida.

5.6.3 Atividade Antioxidante

Para a análise de ABTS (Tabela 10), A bebida inicialmente apresentou um valor de 7,48 $\mu\text{mol TE/g}$, houve uma diminuição de cerca de 40% na primeira semana na atividade antioxidante, indo de 7,48 $\mu\text{mol TE/g}$ para 4,47 $\mu\text{mol TE/g}$, seguida de uma estabilização a partir do 7º. dia até o 49º. dia. Para o DPPH (Tabela 10) o comportamento seguiu uma tendência parecida, porém com um aumento acentuado no dia 21, seguido de queda.

Na Tabela 11 estão os dados da análise de DPPH, o valor inicial foi de 4,34 $\mu\text{mol TE/g}$, no abacaxi in natura esses valores podem variar de 4,25 a 22,85 $\mu\text{mol TE/g}$ (LU, 2014), o dia 21 foi considerado erro pelo mesmo motivo do dia 21 de DPPH da partícula no item 5.5.3.

Tabela 10. Estabilidade da atividade antioxidante pelo método de ABTS da bebida.

Tempo (dias)	ABTS bebida ($\mu\text{mol TE/g}$)
0	7,48 $\pm 0,19^a$
7	4,47 $\pm 0,69^c$
14	5,34 $\pm 0,02^b$

21	$4,7 \pm 0,07^{bc}$
28	$4,32 \pm 0,35^c$
35	$4,54 \pm 0,05^{bc}$
42	$4,38 \pm 0,09^c$
49	$4,85 \pm 0,08^{bc}$

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

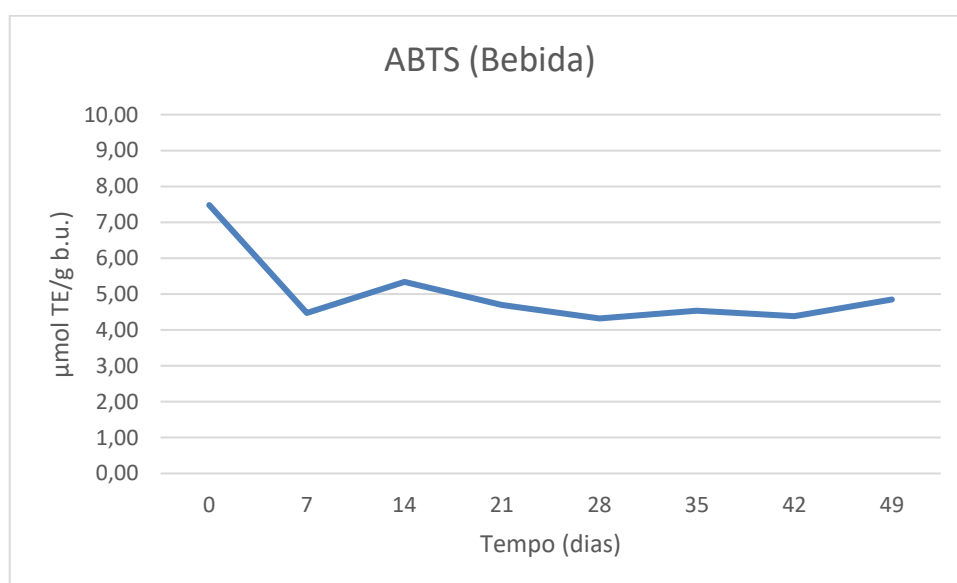


Figura 23. Gráfico da estabilidade da atividade antioxidante pelo método de ABTS da bebida.

Tabela 11. Estabilidade da atividade antioxidante pelo método de DPPH da bebida.

Tempo (dias)	DPPH bebida (μmol TE/g)
0	$4,34 \pm 0,58^b$
7	$3,37 \pm 0,09^d$
14	$4,18 \pm 0,05^{bc}$
21	$5,31 \pm 0,07^a$

28	$3,92 \pm 0,02^c$
35	$3,98 \pm 0,04^c$
42	$3,20 \pm 0,10^d$
49	$3,14 \pm 0,24^d$

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

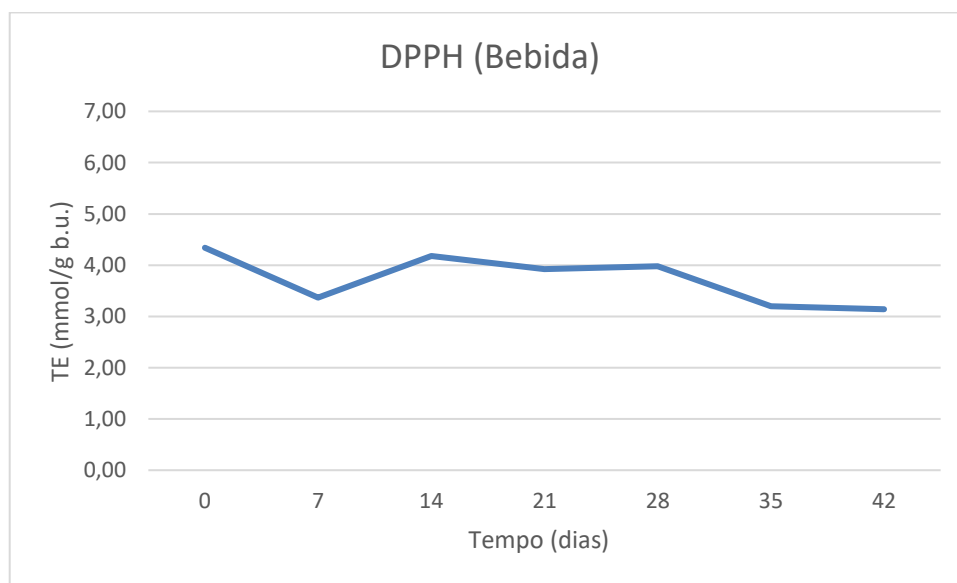


Figura 24. Gráfico da estabilidade da atividade antioxidante pelo método de DPPH da bebida.

5.6.4 pH

A bebida apresentou um valor inicial de 3,65, o pH apresentou diferença estatística, sendo 3,39 o menor, os valores se encontram na Tabela 12, apesar da diferença estatística os valores obtidos indicam uma boa estabilidade, livre de crescimento microbológico, a diminuição do pH pode ter ocorrido devido a liberação gradual do suco de limão presente na partícula. Valores de pH entre 4,5 e 4,1 foram relatados por Alvarenga (2016) em bebida mista de abacaxi com chá verde na mesma proporção da usada no Bubble Tea.

Tabela 12. Estabilidade do pH da bebida

Tempo (dias)	pH bebida
0	3,65 $\pm$ 0,01 ^a
7	3,42 $\pm$ 0,0 ^{de}
14	3,40 $\pm$ 0,01 ^{ef}
21	3,34 $\pm$ 0,0 ^f
28	3,51 $\pm$ 0,02 ^b
35	3,39 $\pm$ 0,01 ^f
42	3,43 $\pm$ 0,02 ^{cd}
49	3,45 $\pm$ 0,01 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

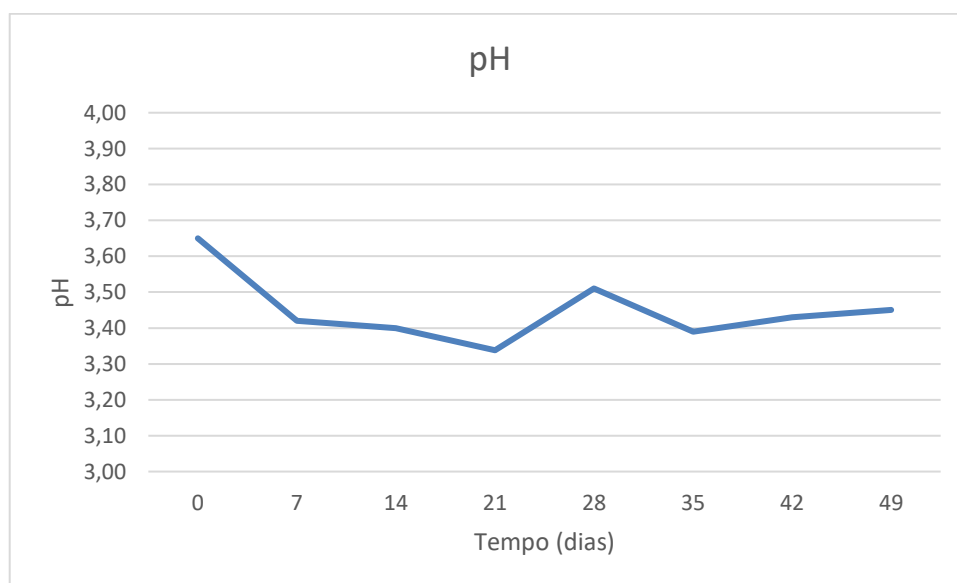


Figura 25. Gráfico da estabilidade do pH da bebida.

5.6.5 Brix

A bebida apresentou Brix de 5,6, ao longo do experimento não apresentou grande variação, se mantendo com uma mínima oscilação entre 5,7 e 5,5, indicando que o processo de pasteurização foi feito corretamente, para bebidas

com a mesma formulação o Brix encontrado na literatura foi de 7,07 (ALVARENGA, 2016), os resultados se encontram na Tabela 13.

Tabela 13. Estabilidade do Brix da bebida.

Tempo (dias)	Brix bebida
0	5,6 $\pm$ 0,06 ^a
7	5,7 $\pm$ 0,0 ^{ed}
14	5,7 $\pm$ 0,1 ^{ef}
21	5,5 $\pm$ 0,12 ^f
28	5,6 $\pm$ 0,06 ^b
35	5,7 $\pm$ 0,0 ^f
42	5,5 $\pm$ 0,1 ^{cd}
49	5,6 $\pm$ 0,12 ^c

Médias seguidas de letras diferentes na mesma linha/coluna indicam diferença estatística significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

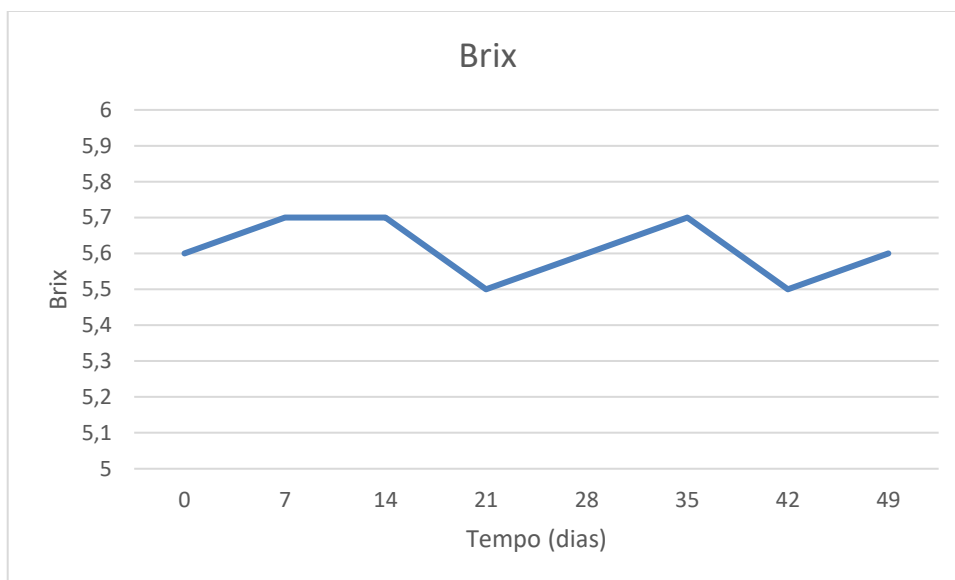


Figura 26. Gráfico estabilidade Brix da bebida

5.7 Análises Microbiológicas da Bebida tipo Bubble Tea

Os resultados da análise microbiológicas se encontram na tabela 14, para Enterobactérias e aeróbios mesófilos a contagem foi menor que 10 UFC/g e para *Bacillus cereus* presuntivo, leveduras e bolores ficou abaixo de 10^2 UFC/g, não foi detectada a presença de *Salmonella*, ambas as contagens indicam que não ouvem crescimento de microrganismos patógenos ao logo do tempo de estocagem da bebida do tipo Bubble Tea, indicando juntamente com a análise de pH que o tratamento térmico de pasteurização junto a acidificação foi essencial para a estabilidade microbiológica da bebida tipo Bubble Tea.

Tabela 14. Análise microbiológica da bebida tipo Bubble Tea

Determinação	Resultados
<i>Salmonella</i> (em 25 g)	Ausente
<i>Bacillus cereus</i> presuntivo (UFC/g)	$< 10^2$
Contagem Enterobactérias (UFC/g)	< 10
Contagem total de aeróbios mesófilos (UFC/g)	< 10
Contagem bolores (UFC/g)	$< 10^2$
Contagem leveduras (UFC/g)	$< 10^2$

5.8 Composição centesimal da bebida tipo Bubble Tea

A bebida tipo Bubble Tea é composto pela bebida adicionada das partículas, nas seguintes quantidades, 300 ml da bebida e 50 g de partículas, totalizando 350 mL. A composição centesimal se encontra na tabela 15, a umidade calculada foi de 96,78%, cinzas 0,19%, sem valores significativos de gorduras totais, 0,11% de proteína, 1,14% de fibra alimentar total, 1,78% de carboidrato, apresentando um valor energético de 8 Kcal/100 mL, sendo uma redução considerável em relação ao Bubble Tea comercial, que pode chegar a 69,8 Kcal/100 mL, sendo a maior parte açúcares adicionados, o que ajuda no aumento

da incidência de diabetes e obesidade dos consumidores deste tipo de produto (MIN, 2017).

Tabela 15. Compostos fenólicos da bebida tipo Bubble Tea.

Umidade (g/100g)	96,78 ± 0,00*
Cinzas (g/100g)	0,19 ± 0,01*
Gorduras totais (g/100g)	ND >0,1
Proteína (Nx5,75) (g/100g)	0,11 ± 0,01*
Fibra alimentar (g/100g)	1,14 ± 0,03*
Carboidrato (g/100g)	1,78**
Valor energético (Kcal/100g)	8***

* Média e estimativa de desvio padrão.

** Calculado por diferença: 100 - (g/100g umidade + g/100g cinzas + g/100g gorduras totais + g/100g proteína+ g/100g fibra alimentar total).

*** O valor energético da amostra foi calculado pela soma das porcentagens de proteína e carboidratos multiplicados pelo fator 4 (kcal/g) somado ao teor de gorduras totais multiplicado pelo fator 9 (kcal/g).

A Figura 27 mostra a apresentação da bebida Bubble Tea no 3. Encontro PBIS (Plataforma Biotecnológica Integrada de Ingredientes Saudáveis) realizado em 2025 no ITAL (Instituto de Tecnologia de Alimentos).



Figura 27. Apresentação da bebida tipo Bubble Tea e das partículas

5.9 Análise de bioativos

5.9.1 Compostos fenólicos

O valor total de fenólicos na bebida tipo Bubble Tea (Tabela 16) foi de 269,64 mgEAG em uma garrafa (350 mL) ou 77 mgEAG/100 mL, sendo um resultado teórico estimado pela somatória das contribuições correspondentes de bebida e partículas, sendo de 14,3% a fração da partículas, fornecendo assim 76,80 mgEAG a cada 350 mL ou 22 mgEAG/100 mL de bebida tipo Bubble Tea e 85,7% a fração da bebida, fornecendo 192,84 mgEAG a cada 350 mL ou 55 mgEAG/100 mL da bebida tipo Bubble Tea, a partícula faz parte de 28% da quantidade de fenólicos da bebida tipo Bubble Tea, contribuindo com um aumento de 40% do valor de fenólicos da bebida, indicando uma boa concentração de extrato encapsulado e grande agregação no teor final de fenólicos totais da bebida tipo Bubble Tea.

Tabela 16. Resultados calculados de compostos fenólicos da bebida tipo Bubble Tea.

Bebida tipo Bubble Tea (mgEAG/100 mL)	Bebida (mgEAG/100 mL)	Partícula (mgEAG/100 mL)
77	55	22

5.9.2 Atividade antioxidante

As análises de antioxidante mostram assim como a análise de fenólicos que as partículas tiveram grande contribuição na atividade antioxidante, a bebida tipo Bubble Tea apresentou 2792 $\mu\text{mol TE}$ a cada 350 g ou 797,7 $\mu\text{mol TE/100 g}$ para análise de ABTS, sendo esse valor é teórico, sendo obtido pela contribuições correspondentes de bebida e partículas, as partículas representam 20% da atividade antioxidante na análise de ABTS, sendo uma contribuição de 548 $\mu\text{mol TE}$ a cada 350 g ou 156,6 $\mu\text{mol TE/100 g}$, a bebida representa 80% da atividade antioxidante na análise de ABTS, sendo uma contribuição de 2244 $\mu\text{mol TE}$ a cada 350 g ou 641,1 $\mu\text{mol TE/100 g}$.

Para a análise de DPPH, a bebida tipo Bubble Tea apresentou 1571 μmol TE a cada 350 g ou 448,8 μmol TE/100 g, sendo esse valor é teórico, sendo obtido pelas contribuições correspondentes de bebida e partículas, as partículas representam 17% da atividade antioxidante, sendo uma contribuição de 269 μmol TE a cada 350 g ou 76,8 μmol TE/100 g, a bebida representa 83% da atividade antioxidante, sendo uma contribuição de 1302 μmol TE a cada 350 g ou 372 μmol TE/100 g. As partículas contribuíram com aumentando em 24% para ABTS e 20% para DPPH com relação a bebida.

Tabela 17. Resultados calculados da atividade antioxidante pelo método de ABTS da bebida tipo bubble tea.

Bebida tipo Bubble Tea (μmol TE/100 g)	Bebida (μmol TE/100 g)	Partícula (μmol TE/100 g)
797,7	641,1	156,6

Tabela 18. Resultados calculados da atividade antioxidante pelo método de DPPH da bebida tipo Bubble tea.

Bebida tipo Bubble Tea (μmol TE/100 g)	Bebida (μmol TE/100 g)	Partícula (μmol TE/100 g)
448,8	372,0	76,8

5.10 Estudo da Digestibilidade

5.10.1 Compostos fenólicos

Os valores encontrados para fenólicos (Tabela 19) após a digestão *in vitro* ficaram acima dos valores antes da digestão, provavelmente devido a interferências na análise devido a compostos da digestão, porém ainda é possível observar que as partículas proporcionaram um aumento significativo na quantidade de fenólicos, o que indica um aumento na bioacessibilidade dos fenólicos por conta das partículas na bebida tipo Bubble Tea. A bioacessibilidade de polifenóis varia

conforme os constituintes da amostra e os métodos de processamento (LEPAUS et al., 2026).

Segundo Morales, Iriundo-Dehond, & Fernández-Tomé (2025) diversos estudos relataram valores de bioacessibilidade de compostos fenólicos acima de 100% devido à liberação de compostos fenólicos de estruturas celulares ou complexos com macromoléculas durante a digestão. No entanto, a quantificação de compostos fenólicos em amostras pré-digeridas permanece um desafio; consequentemente, pode ocorrer subestimação da contagem de compostos fenólicos em amostras pré-digeridas, o que afeta o cálculo da bioacessibilidade e a má interpretação dos dados atuais. Portanto, a otimização do pré-tratamento das matrizes alimentares, bem como a adaptação dos procedimentos de quantificação – frequentemente associados a técnicas espectrofotométricas – a amostras complexas é crucial para a obtenção de resultados confiáveis.

Estudos adicionais que estabeleçam relações entre compostos fenólicos específicos e suas atividades biológicas, e que caracterizem seus efeitos mecanísticos, são encorajados. Finalmente, como a maioria dos trabalhos da literatura aplicam métodos bioquímicos (e celulares, apenas em alguns casos), modelos *in vivo* devem ser usados para validar os resultados promissores obtidos *in vitro*. Modelos animais e ensaios clínicos são cruciais para elucidar o impacto real da digestão gastrointestinal na bioatividade dos compostos fenólicos (MORALES, 2025).

Tabela 19. Compostos fenólicos após a digestão.

Amostra	Fenólicos totais (mgEAG/100g)
Bebida tipo Bubble Tea	529,63 ± 183,96
Bebida (chá + néctar)	314,88 ± 34,08
Partícula	71,14 ± 57,59

5.10.2 Atividade antioxidante

A análise de ABTS para a digestão (Tabela 20) também apresentou valores maiores que o não digerido assim como nos fenólicos, confirmando uma interferência nas análises, porém os resultados apontam para uma elevação na atividade antioxidante da bebida tipo Bubble Tea por parte das partículas.

Tabela 20. Atividade antioxidante após a digestão.

Amostra	ABTS ($\mu\text{mol TE/g}$)
Bebida tipo Bubble Tea	$100,89 \pm 1,68$
Bebida	$40,80 \pm 2,75$
Partícula	$53,07 \pm 1,12$

Segundo Rasesa, De Camargo & De Castro (2023) existem algumas limitações na aplicação do INFOGEST, como preparação e análise de amostras (pré-tratamento, pós-tratamento e extração sob diferentes condições), unidades SI, e fórmula de cálculo da bioacessibilidade, que não estavam em consenso e dificultam a comparação entre diferentes estudos.

Esses pontos descritos precisam ser mais bem abordados para aprimorar as comparações de bioacessibilidade de compostos fenólicos. Ao compreender esses aspectos fundamentais da bioacessibilidade de compostos fenólicos, os pesquisadores de alimentos podem obter uma visão mais adequada dos desafios que precisam ser enfrentados durante o desenvolvimento de nutracêuticos e alimentos funcionais.

6. CONCLUSÕES

Os valores encontrados para umidade, cinzas, gorduras totais, proteína, fibra alimentar e carboidratos do café verde com defeito ficaram dentro do encontrado na literatura, além disso dos compostos fenólicos encontrados por HPLC, a cafeína foi a mais alta em comparação com outros trabalhos.

O revestimento de goma arábica através do método de interação eletrostática foi o mais eficiente, sendo melhor absorvido pela camada externa da partícula, proporcionando uma camada extra, reduzindo as perdas de líquido.

A encapsulação por gelificação iônica seguida de interação eletrostática atingiu uma eficiência de 41 %, sendo dentro do esperado para encapsulação por gelificação iônica de extratos hidroalcoólicos. As partículas apresentaram relativa estabilidade ao longo do período de 49 dias, em relação a cor, quantidade de fenólicos totais e atividade antioxidante, sugerindo uma boa proteção por parte da encapsulação e do revestimento.

As partículas com extrato de café verde e com defeito forneceram acréscimo de 40% no teor de fenólicos em relação a bebida mista de néctar de abacaxi e chá verde, indicando uma eficiência do uso das partículas para produção de alimentos funcionais. O teor calórico da bebida tipo Bubble Tea foi reduzido para 8Kcal/100 mL, bem menos que o comerciais que pode chegar a 69,8 Kcal/100 mL.

A bioacessibilidade de compostos fenólicos da bebida tipo Bubble Tea após a digestão foi incrementada pela adição das partículas, além de manter o perfil da atividade antioxidante. Levando em conta as interferências que podem ocorrer do teste de digestibilidade, dependendo do método e solvente de extração dos compostos fenólicos, novos testes experimentais são recomendados para melhor precisão dos resultados.

7. REFERÊNCIAS

ALVARENGA, T; ABREU, V; PEREIRA, A.; LEMOS, T. Desarrollo y evaluación sensorial de néctar mixto de piña y té verde. **Revista de ciencia y tecnología**. v. 18, n. 1, p. 26-31, 2016.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Em: SALFINGER, Y.; TORTORELLO, M. L. (ed.). **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 5. ed. Washington, D.C.: APHA, 2015.

ANGELIS, R. NOVOS CONCEITOS EM NUTRIÇÃO. Reflexões a respeito do elo dieta e saúde. **Arq Gastroenterol.** v.43, n. 4, 2001.

ARANHA, Caroline Pereira Moura. Microencapsulação por gelificação iônica e interação eletrostática do corante de buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.). 2015. 116 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, 2015.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official Methods of Analysis of AOAC International.* 19. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2012.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). *Official Methods of Analysis of AOAC International.* 21. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2019.

BUREY, P; BHANDARI, B; HOWES, T; GILDLEY, M. Hidrocolloid del particles: Formation, Characterization, and Application. **Food Science and Nutrion.** v. 48, n. 5, p. 361-377, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº. 277, de 22 de setembro de 2005.** Aprova o regulamento técnico para café, cevada, chá, erva-mate e produtos solúveis. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br> Acesso em: 05 fev. 2026.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). *Manual de métodos oficiais de análise de alimentos de origem animal.* Brasília: MAPA, 2009.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 123, de 13 de maio de 2021.** Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 91,

p. 2, 17 maio 2021. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-mapa-n-123-de-13-de-maio-de-2021-319830736>. Acesso em: 16 mar. 2026.

BRODKORB, A., EGGER, L., ALMINGER, M., ALVITO, P., ASSUNÇÃO, R., BALLANCE, S., ... & RECIO, I. INFOGEST static in vitro simulation of gastrointestinal food digestion. **Nat Protoc.** 14, 991–1014 (2019).

BUDIN, A; TAKANO, L; ALVIM, I; MOURA, S. stability of yerba mate extract, evaluation of its microencapsulation by ionic gelation and fluidized bed drying. **heliyon.** V. 9, 2023.

CAPANOGLU, E., NEMLI, E., TOMAS-BARBERAN, F. Novel approaches in the valorization of agricultural wastes and their applications. **J. Agric. Food Chem.** v. 70, p. 6787–6804, 2022.

COSTA, N; CHIOCCHETTI, G, et al. Investigating the Hypoglycemic Potential of Phenolic-Rich Extracts for Upcycling into Sugary Processed Foods. **ACS Food Science & Technology**, 2025.

DESAI, N; STANLEY, J; MURTHY, P. Green coffee nanoparticles: optimization, *in vitro* bioactivity and bio-release property. **Journaul of Microencapsulation.** v. 37, 2019.

DIAS, E; MACEDO, G; CAMARGO, G; MACEDO, J; CHIOCCHETTI, G. Effects of Extraction Processes on Recovery, the Phenolic Profile, and Antiglycation Activity from Green Coffee Residues (*Coffea arabica* and *Coffea canephora* Pierre). **ACS Sustainable Chemistry & Engineering.** v. 12, p. 13464-13474. 2024.

ESQUIVEL, P; JIMENEZ, V. Functional Properties of coffee and coffee by products. *Food Research international.* v. 46, p. 488-495, 2012.

ERKAN-KOÇ, B.; TURKYILMAZ, M.; YEMIS, O.; OZKAN, M. Effects of various protein- and polysaccharide-based clarification agents on antioxidative compounds and colour of pomegranate juice. **Food Chemistry**, v.184, p.37–45, 2015.

FARAH, A; DONANGELO, C. Phenolic compounds in coffee. **Brazilian Journal Plant Physiology**. v.18, p.23-36, 2006.

FARIAS, G. **Abordagem bibliográfica sobre o suco de abacaxi e resíduos do seu processamento**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

FREITAS, L; BARBOSA, J; COSTA, A; BEZERRA, F; PINTO, R; CARVALHO J. From waste to sustainable industry: How can agro-industrial wastes help in the development of new products? *Resources Conserv. Recycl.* v. 169, 2021.

FLOEGEL, A; KIM, D; CHUNG, S; KOO, S; CHUN, O, K. Comparison of ABTS/DPPH assays to measure antioxidant capacity in popular antioxidant-rich US foods. **Journal of food composition and analysis**. v. 24, p. 1043-1048, 2011.

FRAGA, C; CROFT, K; KENNEDY, D; TOMAS-BARBERAN, F. The effects of polyphenols and other bioactives on human health. **Food and Function**, v. 10, n. 2, p. 514–528, 1 fev. 2019.

GRIGGS, D. et al. Sustainable development goals for people and planet. **Nature**, v. 495, n. 7441, p. 305-307, 2013.

GONÇALVES, N; GROSSO, C; RABELO, R; HUBINGER, M; PRATA, A. Comparison of microparticles produced with combinations of gelatin, chitosan and gum Arabic. **Carbohydrate polymers**, v. 196, p. 427-432, 2018.

HUANG, X; BRAZEL, C, S. On the importance and mechanisms of burst release in matrix-controlled drug delivery systems. **Journal of Controlled Release**. v. 73, p. 121-136, 2001.

IAL – INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. 4ª Edição. 1ª Edição Digital, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 7932:2004/Amd 1:2020: Microbiology of food and animal feeding stuffs — Horizontal method for the enumeration of presumptive *Bacillus cereus* — Colony-count technique at 30 degrees C — Amendment 1. Geneva: ISO, 2020.

ISHAK, I, *et al.* Effect of different cocoa mass levels on total phenolic content, antioxidant activity, and sensory acceptability of panned dark chocolate. **Food Security Symposium: Future Advancements in Agriculture for Sustainability**. 2024.

I Ishak, N Musa, N A Muhamad Hasim, N A Badrul Hisham, F N Harris Fadzilah, J Khaironi, F Ahmad and W S S Wan Kamarudin

JAKUBCZYK, K; KALDUNSKA, J; KOCHMAN, J; JANDA, K. Chemical profile and antioxidant activity of the kombucha Beverage derived from White, green, black and red tea. **Antioxidants**. v. 9, 2020.

JIMÉNEZ-ZAMORA, A., DELGADO-ANDRADE, C., RUFIÁN-HENARES, J.A. Antioxidant capacity, total phenols and color profile during the storage of selected plants used for infusion. **Food Chemistry**, v.199, p.339–346, 2016.

JONES, O. G.; MCCLEMENTS, D. J. Recent progress in biopolymer nanoparticle and microparticle formation by heat-treating electrostatic protein–polysaccharide complexes. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 167, n. 1–2, p. 49-62, 2011.

KALIL, A. C. *Manual básico de nutrição*. n.23 Porto Alegre: [s.n.], 1975.

KLIMCZAK, I; MALECKA, M; SZLACHTA, M; GLISZCZYNSKA-SWIGLO, A. Effect of storage on the content of polyphenols, vitamin C and the antioxidant activity of orange juices. *Journal of food composition and analysis*. v. 20, p. 313-322, 2007.

KOMES, D; HUA, F; SCHUCHERS, S; ANDREESCU, S; BRADLEY, R. Effects of different brewing conditions on antioxidant capacity of traditional, decaffeinated and instant green teas. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 1148-1155, 2010.

KONICA MINOLTA. **Comunicação precisa da cor**: controle de qualidade da percepção à instrumentação. Seoul: Konica Minolta, 1998. 59 p.

KOUR, R; SINGH, S; SHARMA, H; NAIK, T; SHEHATA, N; PAVITHRA, N; ALI, W; KAPOOR, D; DHANJAL, D; SINGH, J; KHAN, A; KHAN, N; YOUSEFI, M; RAMAMURTHY, P. Persistence and remote sensing of agri-food wastes in the environment: current state and perspectives. **Chemosphere**. v.317, 2023.

LAMARÃO R; Fialho, E. aspectos funcionais das catequinas do chá verde no metabolismo celular e sua relação com a redução da gordura corporal. **Revista de Nutrição**, v. 22, n. 2, p. 257-269, 2009.

LEPAUS, B; COSTA, N; CHIOCCHETTI, G; BARBOSA, P; QUEIROZ, M; ALVIM, D; MACEDO, J; MACEDO, G. Upcycling Orange by-product: phenolic bioaccessibility and technological features on jelly candies enriched with hidroalcoholic and enzymatic extracts. **Journal of Science of Food and Agriculture**. 2026. DOI 10.1002/jsfa.70469

LIMA, A *et al.* COMPOSTOS BIOATIVOS DO CAFÉ: ATIVIDADE ANTIOXIDANTE IN VITRO DO CAFÉ VERDE E TORRADO ANTES E APÓS A DESCAFEINAÇÃO. **Quim. Nova**. v. 33, n. 1, p. 20-24, 2010.

LIMA. J; MAZZAFERA. P; MORAES; SILVA, R. chá - aspectos relacionados à quantidade e perspectivas. **Ciência Rural**. v. 39, n. 4, p. 1270-1278, 2008.

LU, X; SUN, D; WU, Q; LIU, S; SUN, G. Physico-chemical proprieties, antioxidant acticity and mineral contentes of pineapple genotypes grown in china. **Molecules**. v. 19, n 6, p. 8518-8532, 2014.

MAGALHÃES, L; TOMICH, Frederico A.; SILVEIRA, F. Competitividade e políticas públicas para o agronegócio brasileiro: desafios e perspectivas. **Indicadores Econômicos FEE**, v. 26, n. 4, p. 196-217, 2019.

MANACH, C; SCALBERT, A; MORAND, C; REMESY, C; JIMENEZ, L. Polyphenols: food sources and bioavailability. **American Journal of Clinical Nutrition**. v. 79, p. 727-747, 2004.

MORALES, D.; IRIONDO-DEHOND, A.; FERNÁNDEZ-TOMÉ, S. Application of the INFOGEST 2.0. Standardized method to study the behavior of phenolic compounds throughout gastrointestinal digestion. **Food Chemistry**, p. 145531, 2025.

MATSUBARA S, RODRIGUES-AMAYA, D, B. Teores de catequinas e teaflavinas em chás comercializados no brasil. **Food Science and technology**. v. 26, n. 2, p. 401-407, 2006.

MOURA, S. C., BERLING, C. L., GERMER, S. P., ALVIM, I. D., & HUBINGER, M. D. (2018). Encapsulating anthocyanins from Hibiscus sabdariffa L. calyces by ionic gelation: Pigment stability during storage of microparticles. **Food Chemistry**, n. 241, p.317-327, 2018.

MONTEIRO, M, C; TRUGO, L, C. determinação de compostos bioativos em amostras comerciais de café torrado. **Quim. Nova**. v. 28, n. 4, 2005.

MUNTEANU, I, G; APETREI, C. Analytical Methods Used in Determining Antioxidant Activity: A Review. **International Journal of molecular sciences**. v. 22. 2021.

MOKRZYCKI, W. S.; TATOL, M. Color difference ΔE – A survey. **Machine Graphics and Vision**, v. 20, n. 4, p. 383-411, 2011.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. [S. l.]: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf>. 6 mar. 2026.

OZKAN, G; FRANCO, P; MARCO, I; XIAO, J; CAPANOGLU, E. A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. **Food Chemistry**, v. 272, p. 494–506, 30 jan. 2019.

MIN, J, E; GREEN, D, B; KIM, L. Calories and sugar in boba milk tea: implications for obesity risk in Asian Pacific Islanders. **Food Science & nutrition**. v. 5, n. 1, p. 38-45, 2017.

MIRANDA, D; PESSOA, T; FIGUEIREDO, M; GURJÃO, F; PINHEIRO, R, M; MARTINS, A. Elaboração e caracterização de néctar de abacaxi pérola adoçado com glucose de milho. **Agrotec revista de agropecuária técnica**. v. 36, n. 1, p. 82-87, 2015.

MUSSATTO, S, I; BALLESTEROS, L, F; MARTINS, S; TEIXEIRA, J, A. Extraction of antioxidante phenolic compounds from spent coffee grounds. **Separation and purification Tecnology**. v. 83, p.73-179, 2011.

NOGUEIRA, Gislaine Ferreira. **Produção e caracterização de micropartículas com multicamadas obtidas por gelificação iônica associada à interação eletrostática**. 2013. 173 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e

Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

PANCHE, A. N.; DIWAN, A. D.; CHANDRA, S. R. Flavonoids: an overview. **Journal of Nutritional Science**. v. 5, e47, p. 1-15, 2016.

PANTHARE, P, B; OPARA, U, L; AL-SAID, F, A. Colours Measurement and analysis in fresh and processed foods: A Review. **Food Bioprocess Technol**. v. 6, p. 36-60, 2013.

PASSMORE, R. et al. *Manual sobre necesidades nutricionales del hombre*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud, 1975.

RASERA, G. B.; DE CAMARGO, A. C.; DE CASTRO, R. J. S. Bioaccessibility of phenolic compounds using the standardized INFOGEST protocol: A narrative review. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 22, n. 1, p. 260-286, 2023.

REIS, A, A; SANTOS, J, M; FANCHIOTTI, F, E; SILVA, A, G; CONSTANT, P, B, L. **ENCAPSULAÇÃO POR GELIFICAÇÃO IÔNICA: UMA REVISÃO NARRATIVA**. In: Ciência e Tecnologia de Alimentos: pesquisa e práticas contemporâneas - Volume 2. Editora Científica Digital, 2021.cap. 36, p. 503–516.

ROCHA, W, S; LOPES, R, M; SILVA, D, B; VIEIRA, R, F; SILVA, J, P; AGOSTINI-COSTA, T, S. compostos fenólicos totais e taninos condensados em frutas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**. v. 33, n. 4, 2011.

SADH, P.K., DUHAN, S., DUHAN, J.S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: A review. **Bioresour. Bioprocess**. v. 5, n. 1, 2018.

SANTOS, B, G; OLIVEIRA, I, S, P; RODRIGUES, M, A; MARTINEZ, E, C; PINTO, A, L, C; UEKANE, T, M. Estudo comparativo da composição centesimal, Propriedades físico-químicas e tecnológicas do subproduto do café Arabica (casca e polpa). **Demetra Alimentação, Nutrição & Saúde**. v.20, 2025.

SIQUEIRA, M, U; CONTIN, B; FERNANDES, P, R, B; SOARES, R,R; SIQUEIRA, P,U; Ramos, J, B. Brazilian Agro-industrial Wastes Potential Textile and Other Raw Materials: a Sustainable Approach. **Material Circular Economy**. 2022.

Schimitz, W; Saito, A, Y; Estevão, D; Saridakis, H, O. O chá verde e suas ações como quimioprotetor. **Ciências biológicas e da saúde**, v.26, n.2, 2005.

SOARES, M.; WELTER, L.; KUSKOSKI, E. M.; GONZAGA, L.; FETT, R. Compostos Fenólicos e atividade antioxidante da casca de uvas Niágara e Isabel. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v, 30, n. 1, p. 59-64, 2008.

SOUZA, Flávia Noeli de. **Produção e caracterização de micropartículas obtidas por gelificação iônica associada à interação eletrostática**. 2012. 124 f. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

VÉRONIQUE CHEYNIER. Polyphenols in foods are more complex than often thought. American Society for Clinical Nutrition, 2005. CHEYNIER, Véronique. Polyphenols in foods are more complex than often thought. **The American journal of clinical nutrition**, v. 81, n. 1, p. 223S-229S, 2005.

WU, Jiayi. What makes bubble tea popular? Interaction between chinese and British te aculture. **The Frontiers of Society, Science and Technology**, v. 2, p. 97–102, 2020.

YAASHIKAA, P.R., SENTHIL, K, P., VARJANI, S. Valorization of agro-industrial wastes for biorefinery process and circular bioeconomy: A critical review. **bioresour. technol.** v. 343, 2022.

YANG, J; NING, M; TIAN, Y; CHEN, Z; LIU, Y; YU, Q; LI, X; HUANG, C; LI, Y; WU, X. Association between bubble tea consumption and mental health among adults in mainland china: A national cross-sectional analysis of cohort study. **Journal of Affective Disorders**. P.1115-1121, 2025.

YEO, Y, Baek N, Park, K. Microencapsulation Methods for Delivery of Protein Drugs. **Biotechnology and Bioprocess Engineering**. v. 6, n. 4, p. 213-230, 2001.

ZABOT, G, L; RODRIGUES, F, S; ODY, L, P; TRES, M, V; HERRERA, E; PALACIN, H; RAMOS, J, S, C; BEST, I; MONTENEGRO, L, O. Encapsulation of bioactive compounds for food and agricultural applications. **polymers**. v. 14, 2022.

ZERAIK, M, L; PEIREIRA, C, A, M; ZUIN, V, G; YARIWAKE, J, H. Maracujá: um alimento funcional?. **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 20, n. 3, 2010.