



CAMILA GIOVANA CARVALHO SOUZA

**APROVEITAMENTO DE BORRA DE CAFÉ ESPECIAL E
TRADICIONAL PARA PRODUÇÃO DE EXTRATOS E
APLICAÇÃO EM DOCE DE LEITE**

LAVRAS – MG

2025

CAMILA GIOVANA CARVALHO SOUZA

**APROVEITAMENTO DE BORRA DE CAFÉ ESPECIAL E TRADICIONAL PARA
PRODUÇÃO DE EXTRATOS E APLICAÇÃO EM DOCE DE LEITE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Carlos José Pimenta
Orientador

Prof. Dra. Rejiane Avelar Bastos
Coorientadora

Dra. Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Camila Giovana Carvalho.

Aproveitamento de borra de café especial e tradicional para produção de extratos
e aplicação em doce de leite / Camila Giovana Carvalho Souza. - 2025.

67 p. : il.

Orientador: Carlos José Pimenta

Coorientadora: Rejjane Avelar Bastos

Coorientadora: Ana Cristina Freitas De Oliveira Meira

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Subproduto. 2. Qualidade sensorial. 3. Produto lácteo. I. Pimenta, Carlos
José. II. Bastos, Rejjane Avelar. III. Meira, Ana Cristina Freitas De Oliveira. IV.
Universidade Federal de Lavras. V. Título.

CAMILA GIOVANA CARVALHO SOUZA

**APROVEITAMENTO DE BORRA DE CAFÉ ESPECIAL E TRADICIONAL PARA
PRODUÇÃO DE EXTRATOS E APLICAÇÃO EM DOCE DE LEITE**

**USE OF SPECIAL AND TRADITIONAL COFFEE GROUNDS FOR PRODUCTION
OF EXTRACTS AND APPLICATION IN DULCE DE LECHE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 24 de julho de 2025.

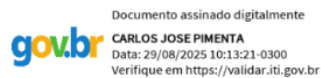
Dr. Carlos José Pimenta UFLA

Dr. Luiz Ronaldo de Abreu UFLA

Dra. Rejiane Avelar Bastos IF Sudeste MG

Dra. Sandra Maria Pinto UFLA

Dr. Sérgio Henrique Silva UNESP



Prof. Dr. Carlos José Pimenta
Orientador

Prof. Dra. Rejiane Avelar Bastos
Coorientadora

Dra. Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira
Coorientadora

**LAVRAS - MG
2025**

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Federal de Lavras – UFLA, ao Departamento de Ciência dos Alimentos – DCA e ao Programa de Pós- Graduação em Ciência dos Alimentos da UFLA – PPGCA/UFLA, pela estrutura oferecida e pela oportunidade de realização do Mestrado.

Agradeço a Capes, pela concessão da bolsa de estudos, que tornou possível a realização do Mestrado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

O presente estudo investigou a aplicação de extratos obtidos das borras de café tradicional e especial na formulação de doce de leite pastoso. Para isso, extratos foram obtidos por prensagem da borra reidratada com água quente (1:2 m/v) e previamente caracterizados quanto às propriedades físico-químicas, viscosidade, atividade antioxidante (fenólicos totais, flavonoides, DPPH, ABTS, FRAP e fosfomolibdênio) e espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). A borra de café especial apresentou coloração mais intensa e maior teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante em comparação à tradicional. Posteriormente, incorporados ao doce em concentrações de 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10%. As formulações foram submetidas a análises físico-químicas e sensorial. Os resultados demonstraram que a adição de até 5% dos extratos preservou atributos similares ao controle, com destaque para a manutenção da cor, da textura e da aceitação sensorial. Por outro lado, concentrações de 7,5% e 10% resultaram em aumento significativo da umidade, redução da dureza e mastigabilidade, escurecimento acentuado e queda nos índices de aceitação. A análise de componentes principais (PCA) e a análise hierárquica de agrupamento (HCA) demonstraram separação clara entre os tratamentos, com formação de dois grupos distintos. Esses achados sugerem que o uso de extratos de borra de café é tecnologicamente viável até o limite de 5%, favorecendo o desenvolvimento de produtos lácteos com apelo sustentável, sem comprometer a qualidade sensorial

Palavras chaves: Subproduto; qualidade sensorial; produto lácteo.

ABSTRACT

This study investigated the application of extracts obtained from traditional and specialty coffee grounds in the formulation of pasty dulce de leche. Extracts were obtained by pressing rehydrated grounds with hot water (1:2 w/v) and previously characterized for physicochemical properties, viscosity, antioxidant activity (total phenolics, flavonoids, DPPH, ABTS, FRAP, and phosphomolybdenum), and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). The specialty coffee grounds had a more intense color and higher phenolic compound content and antioxidant activity compared to traditional coffee grounds. They were subsequently incorporated into the sweet at concentrations of 0%, 2.5%, 5.0%, 7.5%, and 10%. The formulations were subjected to physicochemical and sensory analyses. Conversely, concentrations of 7.5% and 10% resulted in a significant increase in moisture, reduced hardness and chewiness, marked darkening, and a decrease in acceptance rates. Principal component analysis (PCA) and hierarchical cluster analysis (HCA) demonstrated a clear separation between treatments, forming two distinct groups. These findings suggest that the use of coffee grounds extracts is technologically feasible up to a 5% limit, favoring the development of dairy products with sustainable appeal without compromising sensory quality.

Keywords: Byproduct; sensory quality; dairy products.

INDICADORES DE IMPACTO

A presente pesquisa contribui significativamente para a valorização de subprodutos agroindustriais, por meio da incorporação de extratos obtidos das borras de café tradicional e especial na formulação de doce de leite pastoso. A borra de café, frequentemente descartada de forma inadequada, constitui uma fonte acessível e abundante de compostos bioativos, com potencial de aplicação funcional em alimentos. O impacto tecnológico deste estudo reside na viabilidade de substituir, parcial ou totalmente, ingredientes convencionais como o café solúvel por extratos de coprodutos, oferecendo uma alternativa mais sustentável e inovadora em sintonia com as exigências atuais da indústria alimentícia e dos consumidores por produtos com menor impacto ambiental. Os impactos da pesquisa se alinham às áreas temáticas da Política Nacional de Extensão, com ênfase em Tecnologia e Produção, Meio Ambiente e Educação, ao promover inovação aplicada, incentivo à reutilização de resíduos agroindustriais e geração de conhecimento técnico com potencial para futuras aplicações em escala industrial. Além disso, os resultados obtidos estão em consonância com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, destacando-se o ODS 9 (Indústria, inovação e infraestrutura), ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), ODS 13 (Ação contra a mudança global do clima) e ODS 2 (Fome zero e agricultura sustentável). Ao integrar ciência, sustentabilidade e valorização de coprodutos, esta pesquisa fortalece um modelo de desenvolvimento mais equilibrado e resiliente, com potencial de gerar impacto positivo direto na cadeia produtiva de alimentos e em políticas voltadas ao aproveitamento integral de recursos.

IMPACT INDICATORS

This research makes a significant contribution to the valorization of agro-industrial by-products through the incorporation of extracts obtained from traditional and specialty coffee grounds in the formulation of spreadable dulce de leche. Coffee grounds, often improperly discarded, represent an accessible and abundant source of bioactive compounds with potential for functional application in food products. The technological impact of this study lies in the feasibility of partially or fully replacing conventional ingredients, such as instant coffee, with by-product extracts, offering a more sustainable and innovative alternative aligned with current demands of the food industry and consumers for products with lower environmental impact. The impacts of this research align with the thematic areas of the Brazilian National Extension Policy, with emphasis on Technology and Production, Environment, and Education, by promoting applied innovation, encouraging the reuse of agro-industrial waste, and generating technical knowledge with potential for future large-scale applications. Furthermore, the results are in line with the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 12 (Responsible Consumption and Production), SDG 13 (Climate Action), and SDG 2 (Zero Hunger and Sustainable Agriculture). By integrating science, sustainability, and by-product valorization, this research supports a more balanced and resilient development model, with the potential to generate direct positive impacts on the food production chain and on policies aimed at the full utilization of resources.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE:

Figura 1 - Produtos da reação de D-glicose com uma amina primária (RNH ₂).....	16
Figura 2 - Degradação de Strecker e formação de aldeídos, pirazinas e oxazóis.....	17
Figura 3 - Reação de Caramelização.....	18
Figura 4 - Fórmula estrutural do ácido clorogênico.....	21
Figura 5 - Fórmula estrutural da cafeína.....	22

SEGUNDA PARTE:

Figura 1. Borrás e extratos da borra dos cafés especial e tradicional (a) e parâmetros colorimétricos dos extratos das borras de café especial e tradicional (b).....	43
Figura 2. Curva de fluxo dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional.	46
Figura 3. Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) dos extratos liofilizados obtidos das borras de café especial e tradicional.....	49
Figura 4. Doce de leite (a) adicionados de extrato de borra de café especial, (b) adicionados de extrato de borra de café tradicional.....	52
Figura 5. Análise colorimétrica dos doces com extratos obtidos das borras de café especial e tradicional: (a) variação de cor, (b) croma e (c) ângulo hue.....	54
Figura 6. Dados demográficos dos provadores dos doces com extratos obtidos das borras de café especial (ECE) e tradicional (ECT): (a) faixa etária, (b) frequência de consumo de doce de leite e (c) renda.....	56
Figura 7. Análise multivariada dos doces dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional. (a) análise de componentes principais (PCA), (b) análise de agrupamento hierárquico (HCA).....	60

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE:

**Tabela 1 - Composição química do grão cru de cafés arábica e robusta (% em base seca).
11**

SEGUNDA PARTE:

Tabela 1. Tratamentos contendo a adição de extrato da borra de café tradicional (T) ou especial (E), no doce de leite com diferentes concentrações (% m/m).....32

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional..... 37

Tabela 3. Parâmetros reológicos das soluções impregnantes..... 39

Tabela 4. Atividade antioxidante e compostos bioativos dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional..... 40

Tabela 5. Parâmetros físico-químicos dos doces adicionados de extratos obtidos das borras de café especial e tradicional.....43

Tabela 6. Textura dos doces de leite adicionados de extratos das borras de café especial e tradicional..... 47

Tabela 7. Médias de aceitação dos atributos sensoriais dos doces de leite formulados com extratos das borras de café especial e tradicional..... 50

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE:	11
1 INTRODUÇÃO	11
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Café	11
2.2 Torrefação	14
2.3 Reações químicas da torra	15
2.3.1 Reação de Maillard	16
2.3.2 Caramelização	18
2.3.3 Pirólise	19
2.3.4 Degradação da trigonelina	19
2.3.5 Degradação de ácidos	20
2.3.6 Degradação de açúcares	20
2.3.7 Alterações nas proteínas	21
2.4 Borra	21
SEGUNDA PARTE: ARTIGO	26
TERCEIRA PARTE:	59
3. CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
REFERÊNCIAS	60
ANEXOS	67

PRIMEIRA PARTE:

1 INTRODUÇÃO

A indústria alimentícia busca constantemente por inovação, por meio da incorporação de ingredientes funcionais e da adoção de processos mais sustentáveis. Nesse contexto, a valorização de subprodutos da agroindústria surge como uma estratégia que alia potencial econômico à responsabilidade ambiental. O Brasil, maior produtor e segundo maior consumidor mundial de café (ABIC, 2023; CONAB, 2024), enfrenta o desafio de lidar com o elevado volume de subprodutos gerados ao longo da cadeia de produção e consumo, com destaque para a borra de café.

Tradicionalmente descartada em aterros sanitários ou utilizada para queima, a borra de café é um subproduto rico em compostos de alto valor agregado. Sua composição inclui fibras dietéticas, minerais, proteínas, compostos bioativos como ácidos clorogênicos, cafeína e melanoidinas (Choe 2025). Apesar deste potencial, sua aplicação direta em alimentos é limitada pela alta concentração de fibras insolúveis (celulose, hemicelulose e lignina) (Ballesteros; Teixeira; Mussatto, 2014).

Nesse contexto, a produção de extratos surge como uma alternativa tecnológica viável, permitindo a incorporação em matrizes alimentares. Paralelamente, o doce de leite, um produto de imensa popularidade e importância cultural no Brasil, representa um veículo ideal para a incorporação de novos ingredientes. Embora a adição de café solúvel ao doce de leite pastoso já tenha sido explorada, a literatura científica, até o presente momento, não apresenta à aplicação de extratos obtidos da borra de café, especialmente diferenciando subprodutos de cafés com distintos perfis de qualidade, como o especial e o tradicional.

Diante do exposto, o objetivo geral desta dissertação foi investigar o aproveitamento de extratos obtidos a partir de borras de café especial e tradicional, avaliando seu impacto na produção e nas características físico-químicas e sensoriais do doce de leite pastoso.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Café

O café é uma bebida produzida a partir dos grãos torrados do fruto do cafeeiro. A sua origem foi relatada através de uma lenda registrada, em um manuscrito do Iêmen no ano de 575 d.C. De acordo com esta lenda, um pastor, Kaldi, que viveu na Etiópia no nordeste da

África, de cabras observou comportamento de seu rebanho mais agitado, após o consumo dos frutos de coloração amarelo avermelhada dos arbustos abundantes dos campos da vegetação local. Kaldi, dividiu a observação com um monge, que utilizou os frutos na forma de infusão e confirmaram o efeito, disseminando a notícia pela região, e os etíopes iniciaram o consumo da polpa, maceração do fruto, nas refeições e as folhas também eram utilizadas no preparo de chá e suco fermentado que se transformava em bebida alcoólica (ABIC, 2021).

No entanto, os árabes desenvolveram a técnica de plantio e preparação, quando o café da Etiópia foi transportado para a Península Arábica. Registros históricos de 575 d.C. designam o Iêmen, atual Sudoeste da Ásia, como a primeira região a receber as sementes, neste local, no século XIV, iniciou a produção comercial e o processo de torrefação conferindo as características à bebida como conhecemos (Martins, 2017).

A cafeicultura foi introduzida no Brasil em 1727, no século XVIII, a primeira muda veio da Guiana Francesa, trazida pelo oficial português Francisco de Melo Palheta para o Pará, onde foram plantadas. Desde então tornou-se uma das atividades econômicas mais importantes para o país, corresponde a um terço da produção mundial de café, sendo o maior produtor mundial, posto que possui há mais de 150 anos. Os principais estados produtores no país são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia (ABIC, 2021; Ferrão et al., 2019).

Conforme os dados divulgados pela ABIC (2023), o Brasil ocupou a segunda posição como maior consumidor de café no mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Além disso, o consumo interno de café no país aumentou 1,64%, considerando dados de novembro de 2022 a outubro de 2023, este volume representou 39,4% da safra, sendo 55,07 milhões de sacas de 60 quilos. No entanto, em relação à produção observou que a safra 2023 foi de bialidade negativa, devido aos adversos climáticos, mas iniciaram a recuperação da produtividade e nesse sentido, a segunda estimativa para a produção brasileira de café em 2024, deverá ser de 58.81 milhões de sacas de café beneficiado, sendo 6,8% superior à produção anterior (CONAB, 2024).

As bebidas de café tornaram-se os produtos mais populares consumidos, devido ao seu aroma e sabor agradável. E são produzida a partir de sementes moídas de espécies *Coffea* da família Rubiaceae, das 120 espécies, as mais conhecidas e consumidas são *Coffea arabica* (café arábica) e *Coffea canephora* (conilon ou robusta), ambas apresentam diferenças no tamanho, formato, preço, características sensoriais e composição química (Tabela 1) (Cortez, 2001).

Tabela 1 - Composição química do grão cru de cafés arábica e robusta (% em base seca)

Composição	Robusta	Arábica
Polissacarídeos	37 - 57	50 - 55
Proteínas	11 - 13	11 - 13
Lipídios	9,0 - 13	12 - 18
Ácidos clorogênicos	7,0 - 10	5,5 - 8,0
Oligossacarídeos	5,0 - 7,0	6,0 - 8,0
Minerais	4,0 - 4,5	3,0 - 4,2
Aminoácidos	2	2
Cafeína	1,6 - 2,4	0,9 - 1,2

Fonte: Cortez, 2001.

Os grãos de café Arábica são mais valorizados entre os consumidores por sua qualidade superior, apresentando uma bebida com aroma e sabores intensos, acidez elevada, menos encorpada e teor de cafeína, sendo este, destinado para a produção de cafés especiais. Enquanto, o Robusta apresenta características sensoriais mais amargas, baixa acidez, sabor amadeirado e mais encorpado (Agnoletto et al., 2019; Angeloni et al., 2021; Moeenfarid; Alves, 2020; Zhang et al., 2020).

Entretanto, é importante ressaltar que a qualidade da bebida final pode ser influenciada, não só pela composição da matéria-prima, mas também pelas características físicas, fatores genéticos e ambientais (Freitas, 2020; Yeretizian et al., 2019). E também, no processamento da pós colheita (secagem, armazenagem, torrefação e moagem), sendo a torrefação uma das etapas mais importantes na qualidade final da bebida, devido às complexas reações químicas, que estabelece os aspectos físico-químicos e sensoriais (Elias, 2019).

No Brasil, a qualidade do café é classificada com base no Programa de Qualidade do Café, regulamentado pela Associação Brasileira da Indústria de Café (ABIC), em diferentes categorias: Tradicional, Extraforte, Superior e Gourmet. Além dessas, destacam-se os cafés especiais, também chamados de cafés de qualidade superior, que passam por uma seleção mais rigorosa, com grãos isentos de defeitos e impurezas. Esses atributos conferem à bebida um perfil sensorial mais doce e limpo, com corpo e acidez equilibrados, sendo pontuada acima de 80 pontos em avaliações sensoriais conforme os critérios da Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA, 2023).

Os cafés Gourmet exibem baixo amargor, acidez moderada e alta doçura, constantemente caracterizados com notas sensoriais frutadas e florais. Os cafés Superiores, revelam amargor, doçura e acidez leve a moderada, com notas que remetem a amêndoas e chocolate. Já os cafés Tradicionais e Extrafortes possuem amargor de moderado a intenso, baixa doçura, maior corpo e adstringência, e notas amadeiradas. Por fim, os cafés especiais se destacam pela alta doçura, baixo amargor e aromas intensos que podem ser florais, frutados ou até levemente alcoólicos (BSCA, 2023; ABIC, 2023b).

Essa classificação é definida de acordo com a qualidade do café a partir da análise do aroma, acidez, amargor, adstringência, presença ou ausência de grãos defeituosos (ABIC, 2021). A classificação do grão é realizada a partir da Instrução Normativa nº8, de 11 de junho de 2003, que identifica em uma amostra de 300g do produto beneficiado. São classificados em tipo de 2 a 8, os contados como tipo 8 são considerados impróprios para o consumo (Brasil, 2003). Os defeitos são grãos pretos, azedos ou marrons, imaturos, furados, quebrados, chochos, mal granados, brocados e conchas e a presença de materiais estranhos como casca, paus, caroços e pedras. Portanto, esses defeitos reduzem a qualidade do café afetando a cor e o processo de torrefação (Melo; Elias; Silva, 2019).

2.2 Torrefação

Café torrado é definido pela portaria SDA Nº 570, DE 9 DE MAIO DE 2022, como o fruto do café beneficiado, endosperma, que foi submetido a tratamento térmico até atingir o ponto de torra desejado, podendo se apresentar em grãos ou moído (BRASIL, 2022). O perfil de torra é definido em torra clara (alta temperatura e curto período tempo), média (média temperatura com médio período de tempo) e escura (baixa temperatura com longo período de tempo) (Putra et al., 2019). Debona et al. (2020), avaliaram a composição química de café arábica em diferentes torras com variação binominal tempo e temperatura, sendo a torra clara (180 °C durante 06:30 minutos), média (140 °C durante 08 minutos) e escura (120 °C durante 10 minutos).

Os métodos mais aplicados para a classificação do grau de torra são as análises colorimétricas (Ferrão et al., 2019). No entanto, a empresa *America Specialty Coffee Association of America* (SCAA), criou uma escala denominada em Sistema *Agtron / Roast Classification Color Disk*. A escala consiste em discos, com cores relacionadas com a intensidade da torra, codificada por números de 0 a 100, dois desses discos são comparados

visualmente para identificar o grau da torra. Sendo, muito clara (#95), clara (#85), moderadamente clara (#75), média clara (#65), média (#55), moderadamente escura (#45), escura (#35) e muito escura (#25). As torras ideais são assimiladas com os discos numerados entre 75 e 45.

No processo de torra do café ocorrem complexas reações químicas, que ocasiona degradação de açúcares, proteínas, ácidos clorogênicos e compostos fenólicos (Tang et al., 2021), que promovem alterações físico-químicas, influenciando a acidez, sólidos solúveis totais, compostos aromáticos, sabor e a cor (Elias, 2019).

Neste processo ocorrem três fases: secagem, torra e resfriamento, respectivamente. Na secagem, a água do grão evapora, em sequência ocorre redução da massa e liberação de compostos voláteis do grão. Em aproximadamente 8 minutos na temperatura de 150°C, o grão escurece e inicia a liberação dos compostos aromáticos. Na fase seguinte acontecem as reações de pirólise, reações de Maillard e a caramelização, atingindo a coloração marrom-clara nos 200 °C, entre 11 e 12 minutos, etapa importante na qual ocorrem modificações físicas e químicas, resultando no aroma e sabor característico. O resfriamento deve ser realizado imediatamente, através de um jato de ar ou água por aproximadamente 5 minutos para encerrar o processo de pirólise e prevenir uma carbonização do café (Gonzalez, 2004; Silva, 2008; Silva, 2021).

A transferência de calor da superfície do torrador aumenta a temperatura interna do grão verde, causada por um processo endotérmico. Conforme a temperatura sobe, o grão passa por um processo exotérmico e elimina compostos voláteis como o gás carbônico. Em seguida, a semente do grão se expande e rompe, devido ao aumento da pressão interna, gerando o primeiro “crack”, quando a temperatura interna do grão atinge 180 °C. O segundo “crack”, processo de rompimento da matriz celular, ocorre em temperaturas próximas a 230 °C, momento que há a maior liberação de compostos aromáticos, como aldeídos, cetonas e ácido acético. Ainda, ocorre a eliminação dos óleos aromáticos, devido a esse aumento da temperatura, onde libera o óleo de café "cafeol", essência do café. Caso, o processo de torração continue, e a temperatura interna do grão seja superior a 230 °C, haverá degradação dos componentes do aroma, devido a incineração das estruturas celulósicas (Virgen-Navarro et al., 2016).

2.3 Reações químicas da torra

Durante o processo de torra, ocorrem reações químicas como a degradação de açúcares, proteínas, ácidos clorogênicos e compostos fenólicos durante a reação de Maillard. Sendo, essas reações responsáveis pelas alterações físico-químicas, formando compostos voláteis como furanos, pirazinas, pirroles, ácidos e ésteres (Tang et al., 2021).

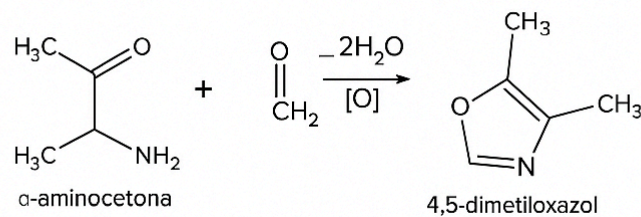
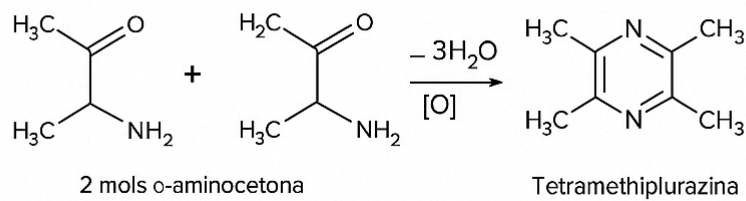
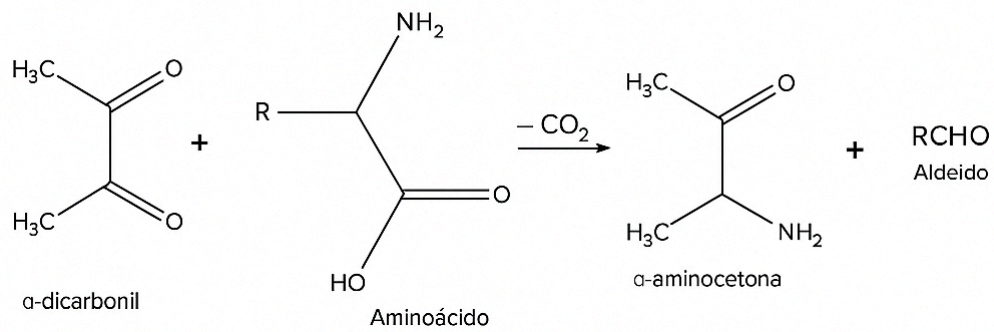
2.3.1 Reação de Maillard

A reação de Maillard (escurecimento não enzimático) ocorre em altas temperaturas, entre grupo amina primário seja aminoácidos livres ou seja aminoácidos de uma cadeia proteica com os açúcares redutores. Essa reação é responsável por formar compostos voláteis importantes, como piridinas, pirazinas, dicarbonilas, diacetil, oxazóis, tiazóis, pirróis, imidazóis, enolonas (furaneol, maltol, cicloteno) e ácidos fórmico e acético (Feng et al., 2022; Fennema; Damodaran; Parkin, 2010; Lee et al., 2015; Poisson et al., 2017).

A reação tem início com o grupamento aldeído do açúcar redutor, que reage de forma reversível com amina, ocorrendo a eliminação de água, formando a base de Schiff ($RHC=NHR$), produzindo uma glicosilamina (N-glicosídeo), tendo como exemplo a D-glicose. A glicosilamina, sofre a reação rearranjo de Amadori (moléculas pequenas e relativamente estáveis), resultando um derivado da D-glicose, em um 1-amino-1-deoxi-D-frutose (Figura 1), sendo os compostos de Amadori os primeiros agentes das reações de escurecimento (Fennema; Damodaran; Parkin, 2010).

Ainda de acordo com Fennema, Damodaran e Parkin (2010) os compostos de Amadori, devido ao aquecimento, passaram por transformação e desidratação. Em continuidade da reação, especificamente em condições ácidas com o pH igual ou menor que 5, tem um derivado de furano formado, se for uma hexose forma-se o 5-hidroxi-metil-2-furaldeído (HMF). Em condições menos ácidas, os compostos cíclicos reativos polimerizam originando os compostos com pigmentos escuros.

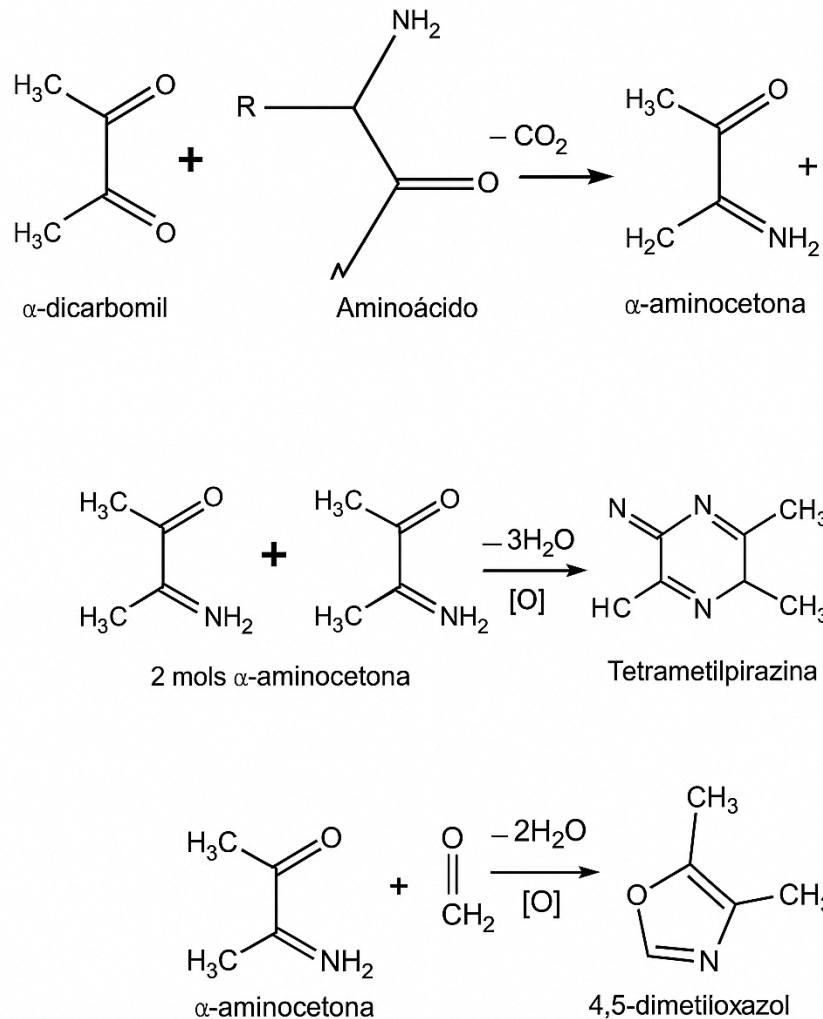
Figura 1 - Produtos da reação de D-glicose com uma amina primária (RNH_2)



Fonte: Fennema; Damodaran; Parkin, 2010.

Durante a fase intermediária, ocorre a degradação de *Strecker* (Figura 2), que abrange os compostos α -dicarbonílicos (desoxizonas ou osonas) reagindo com α -aminoácidos, que são convertidos em aldeídos, formando a base de *Schiff*. Essa base sofre descarboxilação, desidratação e eliminação de um átomo de carbono, para a produção de um aldeído com um carbono a menos do que o original. A base de *Schiff* forma um aldeído e um derivado cetoamino, no qual condensam e a ciclizam formando compostos pirazínicos ou oxazóis. Sendo estes responsáveis pelo sabor e aroma característicos ao café (Dart; Nursten, 1989; Fennema; Damodaran; Parkin, 2010; Freiria, 2018; Poisson et al., 2017).

Figura 2 - Degradação de Strecker e formação de aldeídos, pirazinas e oxazóis



Fonte: Dart; Nusrten, 1989.

Assim, finaliza a reação de Maillard, essa modificação da coloração a exemplo o grão de café, formando uma cor marrom, está relacionada com a geração de melanoidinas. As melanoidinas são moléculas grandes, que também auxiliam na textura e corpo da bebida. Entretanto, a coloração característica do café não é apenas de origem dessas moléculas, mas também juntamente com a caramelização dos açúcares (Belitz et al., 2009).

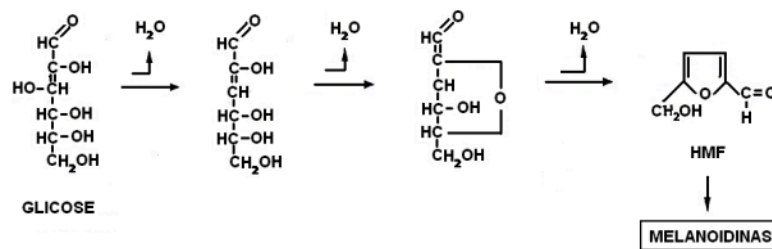
2.3.2 Caramelização

A caramelização (escurecimento não enzimático) é uma reação (Figura 3) que transcorre em carboidratos com temperaturas em torno de 200 °C, para açúcares redutores.

Durante o aquecimento no processo de torrefação, os carboidratos presentes no grão de café, caramelizam promovendo as reações envolvidas na caramelização (Fennema; Damodaran; Parkin, 2010; Freiria, 2018).

O açúcar é desidratado, devido ao aquecimento, formando ligações duplas ou anéis anidros. Os anéis insaturados, como o anel furano (hidroximetilfurfural), podem sofrer o processo de condensação formando polímeros úteis, tornando-se insaturados com duplas ligações conjugadas, de coloração marrom. De acordo com o catalisador (ácido ou básico) utilizado pode intensificar a velocidade da reação, sendo estes utilizados para conduzir a reação, especificando a cor, solubilidade e acidez do caramelo desejado (Fennema; Damodaran; Parkin, 2010).

Figura 3 - Reação de Caramelização



Fonte: Araújo, 1999.

2.3.3 Pirólise

A reação de pirólise ocorre durante o segundo “crack”, no processo de torra, momento do rompimento da matriz celular do grão, devido ao aumento da temperatura, com a ausência do oxigênio. A matriz intercelular dos carboidratos estruturais presentes no grão, são degradadas, assim, aumentando porosidade e produção do gás carbônico (Fadai et al., 2017).

2.3.4 Degradação da trigonelina

A trigonelina (n-metil betaína) é a substância responsável por produzir compostos causadores do sabor do café presente naturalmente na composição do café verde, em níveis elevados (Alves, 2012; Jeszka-Skowron; Frankowski; Zgoła-Grześkowiak, 2020; Perrone;

Donangelo; Farah, 2008). Durante o processo de torra a trigonelina é degradada e forma diversos compostos voláteis e não voláteis (Alcantara, 2020).

A degradação da trigonelina é decomposta pelo aquecimento em ácido nicotínico, formando pirazinas, pirróis e piridinas, e a trigonelina restante confere ao café um sabor amargo. Sendo, pirazinas e pirróis (N-metilpirrol) importantes para o aroma do café (Pinheiro et al., 2019; Seninde; Chambers, 2020).

2.3.5 Degradação de ácidos

Os carboidratos, presentes no grão do café, são decompostos durante a torra, produzindo ácidos carboxílicos e gás carbônico. Os principais ácidos encontrados no café após a torrado são o clorogênico, o acético e o cítrico. O ácido clorogênico está presente em cafés verdes em torno de 7%, e esse teor pode ser reduzido à metade durante a torração (Pimenta, 2003). Os ácidos clorogênicos, são formados entre o ácido quínico e certos ácidos trans-cinâmicos.

Durante a torra ocorre a sua degradação, devido ao tratamento térmico, ocasionando uma série de compostos voláteis, como os fenólicos que apresentam relevância no sabor do café. Ainda, apresenta os compostos guaiacóis e lactonas, que são associados à acidez, ao sabor adstringente e amargo do café (Elias, 2019; Seninde; Chambers, 2020).

2.3.6 Degradação de açúcares

Os açúcares são produtos para as reações de Maillard e caramelização. A sacarose é reduzida na torrefação, em comparação com a composição inicial e após a torra clara, resta em torno de 3 a 4% e 1% após a torra escura. Liberando compostos como monossacarídeos, precursores de aldeídos e ácidos responsáveis pelo flavor (Oliveira, 2006).

Os derivados de furanos degradam os monossacarídeos e açúcares (cadeia longa) durante o processo de torra. Na reação da pirólise da glicose, ocorre enolização, desidratação e fissão, formando de hidroximetilfufural (HMF), originando vinilfuranos, 2,4-pentadienal e fufural. Sendo, os derivados de furanos os principais produtos de degradação dos açúcares durante a torração (Flament, 2002).

2.3.7 Alterações nas proteínas

Durante a torração ocorre a hidrólise das proteínas resultando em sulfato de metila, metilmercaptana e aminoácidos que reage com carboidratos formando compostos de pigmentos escuros. Ainda, os aminoácidos (cisteína, cistina e metionina) degradam e interagem com açúcares redutores e intermediários da reação de *Maillard*, durante a torração do café, formando compostos voláteis envolvendo enxofre (Flament, 2002; Pimenta, 2003).

Os compostos voláteis que liberam o aroma característico durante o processo de torrefação do café (Pua et al., 2022). Devido, a sua composição apresentarem os compostos químicos como a sacarose, ácidos clorogênicos, trigonelina, carboidratos, lipídeos e proteínas que são convertidos em compostos voláteis (Yashin et al., 2017; Ribeiro et al., 2009; Heo et al., 2020).

Sendo o furano o composto volátil, com maiores concentrações encontrado no café torrado, que contribui para o sabor da bebida do café, com aromas doces, pão e caramelo, especificamente 5-metilfurfural, furfural e 2-furanmetanol (Flament, 2002; Moon; Shibamoto, 2009).

2.4 Borra

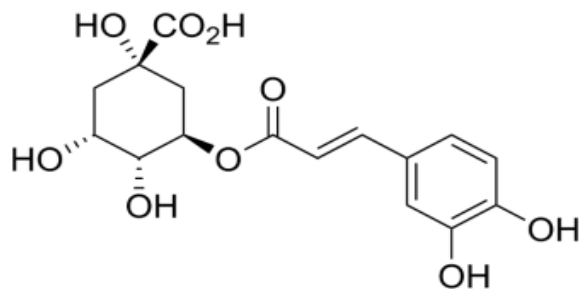
Os compostos químicos responsáveis pelo aroma característico da bebida de café também estão presentes, em menor escala, na borra de café. Estima-se que, globalmente, sejam geradas cerca de 10 milhões de toneladas de resíduos de café por ano, sendo que aproximadamente 90% do peso do pó de café utilizado resulta em borra (Im et al., 2025). Na produção de café solúvel, são gerados em média 4 kg de borra úmida para cada quilograma de produto final. Tradicionalmente, esse resíduo tem sido destinado à queima em caldeiras, aproveitando seu elevado poder calorífico (20.930 kJ/kg, base seca) (Chiyanzy et al., 2014). No entanto, o descarte em aterros contribui para a emissão de gases de efeito estufa, como metano e dióxido de carbono.

A borra de café possui uma composição rica e diversificada, contendo fibras dietéticas, compostos fenólicos, taninos, proteínas, lipídios, minerais, melanoidinas, cafeína, trigonelina, além de polissacarídeos e oligossacarídeos (Campos-Vega et al., 2015; Mussatto et al., 2011; Pujol et al., 2013; Choe, 2025). Seu teor proteico pode atingir até 10%, embora parte desse valor seja formado por compostos nitrogenados não protéicos derivados da reação de *Maillard* (Choe, 2025). As fibras são predominantemente insolúveis, compostas por

celulose, hemicelulose e lignina, o que confere alta resistência à digestão e limita seu uso direto em alimentos (Ballesteros; Teixeira; Mussatto, 2014).

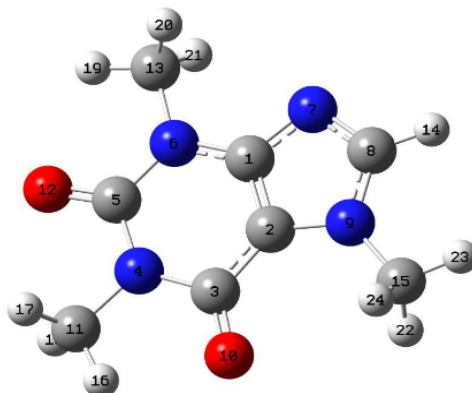
Entre os compostos bioativos mais relevantes da borra de café destacam-se o ácido clorogênico (Figura 4) e a cafeína (Figura 5), além de uma variedade de polifenóis que variam conforme a espécie do grão utilizado. Uma fração menor de fibras solúveis pode exercer efeitos benéficos sobre a saúde intestinal e cerebral (Choe, 2025), embora os estudos nessa área ainda sejam escassos. Um exemplo promissor é um estudo com 10 participantes que avaliou o consumo de biscoitos enriquecidos com borra de café, sugerindo aumento da saciedade e redução na ingestão calórica, o que pode contribuir na prevenção da obesidade (Campos-Vega et al., 2020).

Figura 4 - Fórmula estrutural do ácido clorogênico



Fonte: Clifford, 1999.

Figura 5 - Fórmula estrutural da cafeína



Fonte: Almeida et al. 2016.

A complexidade estrutural da borra de café também impõe desafios para a extração de seus compostos bioativos. Para superá-los, tem-se recorrido a métodos enzimáticos que empregam enzimas como celulases e hemicelulases, capazes de solubilizar frações insolúveis (Hudečková et al., 2018; Phirom-on; Apiraksakorn, 2021). Além disso, técnicas físicas como ultrassom e micro-ondas, associadas ou não a solventes e diferentes condições de temperatura, têm mostrado resultados promissores para aumentar a eficiência de extração (Zhang et al., 2021). O tamanho das partículas também exerce influência significativa na liberação de compostos fenólicos (Pinelo et al., 2007).

Entre as alternativas para aproveitamento desse resíduo, destaca-se a extração de óleo, que pode ser realizada por solventes orgânicos como hexano, etanol, metanol, ou por técnicas mais avançadas, como o uso de dióxido de carbono em estado supercrítico (Savoire et al., 2013). Outro método de destaque é a extração mecânica, realizada por meio de prensas hidráulicas ou de parafuso, onde o material é submetido a alta pressão. Quando essa técnica é conduzida a frio, sem aquecimento, permite maior preservação das características sensoriais e nutricionais do óleo, além da retenção de compostos bioativos como antioxidantes naturais (Yu et al., 2005; Matthäus, 2008). Cada uma dessas abordagens apresenta vantagens e limitações em termos de rendimento e qualidade do óleo extraído (Freitas et al., 2008; Passos et al., 2009).

A produção de extratos da borra de café tem como objetivo fracionar sua matriz, possibilitando a obtenção de ingredientes com valor agregado e potencial aplicação nas indústrias alimentícia, farmacêutica e de embalagens (Masino et al., 2022; Park et al., 2022). Contudo, sua utilização direta em alimentos ainda apresenta limitações, principalmente devido à baixa digestibilidade da matriz e à necessidade de tratamentos prévios, como a redução do tamanho de partículas ou modificações físicas e enzimáticas.

Apesar dessas limitações, diversos estudos têm demonstrado a viabilidade da aplicação da borra de café em produtos alimentícios. A incorporação de sua fração sólida ou de extratos tem sido avaliada em massas (Ahanchi et al., 2024), biscoitos (Sharma et al., 2021), cones de sorvete (López-Silva; García-Valle, 2025) e bebidas fermentadas (Masino et al., 2022; Machado et al., 2018). Ensaio de aceitação sensorial têm apresentado resultados promissores: Koay et al. (2023), por exemplo, observaram que pães contendo até 10% de borra foram bem aceitos, sendo o segundo mais preferido pelos avaliadores. De forma semelhante, biscoitos enriquecidos com borra apresentaram boa aceitação e reforço positivo para atributos como sabor e aroma (Sharma et al., 2021). Esses achados sugerem que, além de agregar valor nutricional, a borra de café contribui para o perfil sensorial dos alimentos,

destacando-se por suas notas aromáticas intensas e coloração marcante, configurando-se como uma alternativa sustentável e funcional para o desenvolvimento de novos produtos.

2.5 Doce de leite

Segundo o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Doce de Leite, aprovado pela Portaria nº354, de 04 de setembro de 1997 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, “entende-se por Doce de Leite o produto, com ou sem adição de outras substâncias alimentícias, obtido por concentração e ação do calor a pressão normal ou reduzida do leite ou leite reconstituído, com ou sem adição de sólidos de origem láctea e/ou creme adicionado de sacarose (parcialmente substituída ou não por monossacarídeos e/ou outros dissacarídeos)” (Brasil, 1997).

Os doces de leite são classificados de acordo com a matéria gorda, em: Doce de leite e doce de leite com creme. A composição deve apresentar os seguintes ingredientes, obrigatoriamente, leite e/ou leite reconstituído, sacarose (máximo 30 kg para 100 litros de leite). Também, ingredientes opcionais podem ser utilizados durante a fabricação como creme, amido, soro de leite, aditivos e coadjuvantes. Por fim, os requisitos físico-químicos com teores, em 100 gramas, de no máximo 30,0 g umidade, 6,0 a 9,0 g de matéria gorda (gordura), 5,0 g de proteína bruta e 2% de cinzas (Brasil, 1997).

O principal ingrediente é o leite, um o produto oriundo da ordenha completa e ininterrupta em condições de higiene, de vacas sadias, bem alimentadas e descansadas. O leite apresenta na sua composição lactose, gordura, proteínas, cinzas e água, aproximadamente 87,5%, esse teor de água é evaporado durante o processo de fabricação. Antes da transformação do leite em doce de leite, o leite precisa padronizar o teor de gordura entre 3,3 e 3,8% (Brasil, 2017; Stephani et al., 2019).

Durante o aquecimento do leite, a acidez aumenta (acidez total desenvolvida) e o pH diminui. Isso acontece devido a diminuição do volume de água presente no leite causando a concentração da acidez, outra razão é a degradação das moléculas de lactose causada pelo aquecimento. Além disso, a exposição ao calor também resulta na desfosforilação das caseínas e precipitação do fosfato de cálcio, o que ocasiona a diminuição do pH, devido, à precipitação de proteínas, e ainda pode atrapalhar a reação de Maillard e causar cristalização da lactose. A presença de cristais da lactose configura um defeito sensorial no doce de leite, resultando em uma textura arenosa (Penci; Marín, 2016; Stephani et al., 2019).

A sacarose adicionada no processo não é um açúcar redutor, devido a isso não favorece a reação de Maillard, e ao adicionar o coadjuvante de tecnologia bicarbonato de sódio favorece essa reação, mas a função principal é corrigir a acidez do leite, evitando a precipitação de proteínas (Stephani et al., 2019). As substâncias formadas durante a reação de Maillard responsáveis pela formação de aromas e sabor no doce de leite, são o 2-metilfurano, 2-furanmetanol, furfural e butirilactona (Starowicz; Zieliński, 2019).

O doce pode ser classificado quanto a formas em pasta (pastoso) ou em barra (tablete), sendo o em pasta com menor concentração de sacarose e o produto final apresenta textura pastosa, uniforme, coloração marrom e sem cristalização. Diferentemente dos em barra que apresenta cristalização, essa distinção no formato é em função do teor de sólidos totais e sacarose no final da produção (Perrone; Stephani; Neves, 2011; Stephani et al., 2019). Na parte de fabricação é analisado o teor de sólidos solúveis totais (SST), dado em °Brix por meio de um refratômetro. Os valores de referência são de 68-70 °Brix para o doce de leite pasta e de 84-86 °Brix para o doce de leite em tablete (Moro; Hough, 1984).

Além do doce tradicional existem outros sabores, dentro desse contexto, Alves e Costa (2010) avaliaram a aceitação sensorial de doce de leite com calda de café, na distribuição de notas observou-se que 24% dos provadores gostaram moderadamente, 35% gostaram muito e 24% gostaram muitíssimo. Embora o produto tenha obtido boa aceitação, os autores observaram que são necessárias modificações na produção da calda, na proporção doce/calda, para aumentar ainda mais a aceitação. Em outro estudo, Ferreira et. al. (2012) verificaram o efeito da substituição de leite por soro de leite e o efeito da adição de café na qualidade química e sensorial do doce de leite. Os resultados obtidos indicaram que a adição de café alterou somente a umidade dos doces e o fator determinante na escolha dos doces foi a concentração de café. Ainda, observaram que os consumidores optaram pelas amostras com baixas concentrações de café independente da concentração de soro, possibilitando a utilização do soro de leite e do café na fabricação do doce de leite, obtendo assim um novo produto. Até o presente momento não há estudos sobre a aplicação de borra de café ou extrato da borra em produtos lácteos.

SEGUNDA PARTE: ARTIGO

Artigo 1 - Redigido conforme norma do periódico científico - Versão preliminar	
Título do artigo:	Aproveitamento De Borra De Café Especial E Tradicional Para Produção De Extratos E Aplicação Em Doce De Leite
Autores:	Camila Giovana Carvalho Souza Rejiane Avelar Bastos Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira Carlos José Pimenta
Periódico:	Journal of Food Science and Technology
ISSN	0975-8402
DOI	https://link.springer.com/journal/13197/submission-guidelines?IFA



**ARTIGO 1 - APROVEITAMENTO DE BORRA DE CAFÉ ESPECIAL E
TRADICIONAL PARA PRODUÇÃO DE EXTRATOS E APLICAÇÃO
EM DOCE DE LEITE**

Camila Giovana Carvalho Souza

<https://orcid.org/0009-0003-2334-9387>

Rejiane Avelar Bastos

<https://orcid.org/0000-0002-5733-5683>

Ana Cristina Freitas de Oliveira Meira

<https://orcid.org/0000-0002-9052-1568>

Carlos José Pimenta

<https://orcid.org/0000-0001-9520-4855>

1. INTRODUÇÃO

O café é uma bebida produzida a partir dos grãos torrados do fruto do cafeeiro, sendo as principais espécies cultivadas são a *Coffea arabica* (café arábica) e a *Coffea canephora* (café conilon ou robusta). Os grãos verdes apresentam em sua composição carboidratos, lipídios, proteínas e minerais, além de compostos bioativos como cafeína, ácidos clorogênicos e trigonelina (Heo et al., 2020). Durante o processo de torrefação, esses constituintes sofrem intensas reações químicas como Maillard, caramelização e degradação térmica, que originam centenas de substâncias voláteis e não voláteis, responsáveis pelo sabor, aroma e coloração característicos do café torrado (Yashin et al., 2017).

O sólido residual proveniente do preparo dessa bebida após a lixiviação dos grãos torrados e moídos em água quente é conhecido como borra de café. Estima-se que cerca de 10 milhões de toneladas de borra são produzidas anualmente, representando aproximadamente 90% do peso do pó de café utilizado (Im et al., 2025). Embora seja tradicionalmente queimada em caldeiras, descartada em aterros ou usada como fertilizante, a borra possui alto potencial de reaproveitamento (Chiyanzu et al., 2014).

A borra de café apresenta fibras insolúveis, compostos fenólicos, proteínas, melanoidinas, cafeína, trigonelina e carboidratos estruturais, como celulose e hemicelulose (Choe, 2025). Entretanto, a estrutura lignocelulósica da matriz dificulta sua aplicação direta em alimentos, exigindo tratamentos prévios como extração, moagem ou modificação enzimática (Ballesteros et al., 2014).

Diante disso, o interesse em valorizar esse resíduo tem sido despertado em diversas áreas, inclusive na indústria de alimentos, devido às propriedades antioxidantes, antimicrobianas e prebióticas, a borra tem sido incorporada em produtos alimentícios como biscoitos, bebidas fermentadas e pães, sem comprometer a aceitação sensorial e, em alguns casos, melhorando aroma e coloração (Ahanchi et al., 2024; López-Silva; García-Valle, 2024; Koay et al., 2023; Montemurro et al., 2024; Machado et al., 2018).

Embora o café já tenha sido incorporado ao doce de leite em forma de calda, mostrando boa aceitação (Ferreira et al., 2012), não há relatos sobre o uso de extrato de borra de café nesse produto. Assim, o objetivo deste trabalho foi produzir extratos de borra de café tradicional e especial, caracterizá-los quanto às propriedades físico-químicas, reológicas e antioxidantes, aplicá-los em doce de leite pastoso e avaliar suas características físico-químicas e aceitação sensorial.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Elaboração do doce de leite

O doce de leite pastoso foi produzido de acordo com Perrone, Stephani e Neves (2011), em uma indústria localizada em Perdões-Minas Gerais . Antes da elaboração do doce foram realizado, às seguintes análises físico-químicas no leite cru, recém ordenhado: determinação de gordura medida pelo método de Gerber, acidez por titulação, a densidade, o extrato seco desengordurado (ESD), proteína e crioscopia do leite (Instituto Adolfo Lutz – IAL, 2008). Os resultados foram analisados de acordo com a Instrução Normativa nº 76 de 26 de Novembro de 2018 (Brasil, 2018).

Após as respectivas análises, em seguida, a etapa de correção da acidez, com a adição do redutor bicarbonato de sódio, até que a acidez do leite seja equivalente a 0,13% (m/v), ou seja, 0,13 gramas de ácido láctico em 100 mililitros de leite, para evitar a desestabilização das proteínas do leite. A quantidade de bicarbonato de sódio foi medida por meio da equação 1, em que R é a quantidade de bicarbonato de sódio a ser adicionada em gramas; D, a acidez que será reduzida, expressa em graus Dornic; V, o volume de leite a sofrer redução de acidez; e PB, a pureza do bicarbonato de sódio (Pacheco; Júnior, 2020).

$$R = \frac{0,1 \times D \times V \times 0,9333}{PB} \quad (1)$$

A concentração desejada de sacarose foi de 16% em relação ao volume de leite, conforme metodologia descrita por Pacheco e Júnior (2020). Após a homogeneização do leite com o açúcar e o agente redutor, iniciou-se a etapa de concentração da mistura em tacho, com o auxílio de agitadores mecânicos. Durante esse processo, a consistência foi monitorada de forma quantitativa, por meio da mensuração dos sólidos solúveis totais (SST), expressos em °Brix, utilizando-se um refratômetro manual. A concentração foi mantida até atingir o ponto final de fabricação do doce de leite, correspondente a 59 °Brix.

2.2 Obtenção da borra

A borra de café utilizada no presente estudo foi obtida em duas cafeterias localizadas na cidade de Lavras (Minas Gerais, Brasil). A borra proveniente do preparo da bebida tradicional foi produzida por um *blend* de grãos de *Coffea arábica* e *Coffea canephora*. Os grãos passaram por uma moagem fina, torra escura e extração em máquina de café expresso (Monarcha Mstp4). Já o café especial, *Coffea arabica*, foi preparado com torra clara, moagem média e também submetido à extração por método expresso. A borra gerada foi coletada, transportada ao Laboratório de Laticínios da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e armazenada sob refrigeração para posterior processamento.

Conforme descrito por Samsalee e Sothornvit (2021), as borras de café foram secas a 60 °C por 24 horas em estufa de ar quente (Ar SL 102, Solab). Após a secagem, os resíduos desidratados foram acondicionados em potes plásticos de polipropileno à temperatura ambiente (25 °C) até a utilização.

Os extratos foram obtidos conforme Im et al. (2025), com adaptações. As borras de café foram reidratadas com água a 100 °C, na proporção de 1:2 (m/v), por 15 minutos. Em seguida, as misturas foram filtradas com auxílio de tecido organza e submetidas à prensagem em prensa hidráulica Tecnal/Hidroval, com capacidade de 2 toneladas (São Paulo, Brasil), realizando-se cinco prensagens sucessivas. Os extratos obtidos foram coletados e armazenados em frascos de vidro âmbar.

2.3 Comportamento reológico dos extratos de café

As viscosidades dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional foram analisadas em quadruplicata em um viscosímetro rotacional de tubo concêntrico (Brookfield DVIII Ultra, Brookfield Engineering Laboratories, EUA) a 25 °C. O spindle SC4-18 e uma rampa crescente com uma taxa de deformação de 19,81 s⁻¹ a 277,21 s⁻¹ foram empregados. Os modelos Newtoniano (Equação 1), foram ajustados aos dados de tensão de cisalhamento e taxa de cisalhamento (Steffe, 1996).

$$\sigma = \mu \dot{\gamma} \quad (1)$$

Onde σ é a tensão de cisalhamento (Pa), μ é a viscosidade (Pa s), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹).

2.4 Análise de fenólicos totais, flavonoides e capacidade antioxidantes dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional

2.4.1 Quantificação de Compostos fenólicos totais

Os compostos fenólicos totais foram quantificados de acordo Paradiso et al. (2018), com algumas alterações, em uma microplaca de 96 poços, fundo chato, 30 μL do extrato foram misturados com 150 μL do reagente Folin-ciocalteau a 10%. Após, foram adicionados mais 120 μL de uma solução de carbonato de sódio a 4%. Essa mistura reacional foi incubada durante 2 h ao abrigo da luz e o teor de fenólicos totais foi determinado a 720 nm, utilizando leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®). O cálculo do teor de fenólicos foi realizado a partir da equação da reta obtida da curva padrão de ácido gálico. Os resultados foram expressos em miligramas de equivalente de ácido gálico (GAE) por cem gramas de amostra.

2.4.2 Teor de flavonoides

O teor de flavonoides foi determinado de acordo com Costa et al. (2024) adaptado. 125 μL do extrato foi misturado com 125 μL de cloreto de alumínio a 2% (m/v) e 50 μL de nitrito de sódio (NaNO_2) a 5%. A absorbância foi determinada em 420 nm após 30 minutos. Os resultados foram expressos em mg equivalente de quercetina por 100 g.

2.4.3 Atividade antioxidante

2.4.3.1 Método ABTS +

A determinação da atividade antioxidante pelo método ABTS^+ foi baseada na captura do radical ABTS^+ por um antioxidante, seguindo a metodologia de Machado et al. (2024) com adaptações. Resumidamente, a solução de ABTS^+ foi preparada pela reação do sal de diamônio 2,2'-azi-nobis (ácido 3-etilbenzotiazolino-6-sulfônico) na concentração de 7 mmol L^{-1} com 2,45 mmol L^{-1} de persulfato de potássio à temperatura ambiente por 16 h. A solução obtida foi então diluída com etanol até uma absorbância de $0,70 \pm 0,05$ a 734 nm. Alíquotas de 10 μL dos extratos da amostra foram pipetadas juntamente com 300 μL da solução de

ABTS⁺. Após 6 min de reação, protegido da luz, a absorbância foi medida a 734 nm. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos como equivalentes μMol de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (TROLOX) por grama de amostra, com base em uma curva de calibração com concentrações conhecidas de TROLOX.

2.4.3.2 Método FRAP

A atividade antioxidante também foi medida com base no poder redutor do ferro (FRAP) na presença de antioxidantes. O reagente FRAP foi preparado misturando 40 mM de TPTZ (diluído em 40 mM de HCl), 300 mM de tampão acetato (pH 3,6) e 20 mM de FeCl_3 na proporção de 10:1:1 (v/v/v). Uma alíquota de 10 μL do extrato foi misturada com 20 μL de água destilada e 300 μL do reagente FRAP, incubada a 37 °C por 30 min, e a absorbância foi lida a 595 nm. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos como equivalentes μMol de ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (TROLOX) por grama de amostra, com base em uma curva de calibração com concentrações conhecidas de TROLOX.

2.4.3.3 DPPH

A determinação da atividade antioxidante pelo ensaio de captura de radicais DPPH[•] (2,2-difenil-1-picril-hidrazil), o qual fundamenta-se na redução do radical DPPH[•] por antioxidantes presentes no extrato, foi realizada conforme descrito por Rufino et al. (2010) com adaptações. A mistura reacional foi constituída por 10 μL de extrato vegetal e 300 μL de solução etanólica de DPPH ($6 \cdot 10^{-2}$ mM). Após 30 minutos de repouso e sob o abrigo da luz, as leituras foram realizadas em um leitor de microplacas (EZ Read 2000) à 515 nm. Os resultados da atividade antioxidante foram expressos como equivalentes μMol de ácido ascórbico por grama de amostra, com base em uma curva de calibração com concentrações conhecidas de ácido ascórbico.

2.4.3.4 Complexo de fosfomolibdênio

A determinação pelo ensaio do complexo de fosfomolibdênio também foi realizada (Oliveira et al., 2023). Alíquotas dos extratos foram transferidos para microplacas com 96 poços, e após tempo reacional de ambos os ensaios as leituras foram realizadas no leitor de microplacas (EZ Read 2000, Biochrom®) a 695 nm.

2.5 Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR)

Com o objetivo de identificar os compostos aromáticos e antioxidantes presente nos extratos de café eles foram liofilizados e analisados por espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier. Para isso os extratos obtidos das borras de café especial e tradicional foram congelados à -75 °C em Ultra Freezer (CL 120-86V, Tectalmaq Cryofreezer, Brasil) por 24 h e em seguida liofilizadas a -25 °C com pressão de vácuo de 0,998 mbar em um liofilizador (Edwards, modelo L4KR, Brasil) por 72 h. Os pós resultantes foram submetidos à análise de FTIR em espectrofotômetro Bruker FTIR (Vertex 70, EUA). A análise foi realizada preparando pastilhas de brometo de potássio (KBr) compostas por 20 mg de amostras e 80 mg de KBr. A região do infravermelho analisada foi de 4000 cm^{-1} a 500 cm^{-1} com 64 varreduras e resolução de 4 cm^{-1} .

2.6 Adição dos extratos de café no doce de leite

O extrato da borra de café foi adicionado ao doce de leite após o resfriamento, já nas embalagens higienizadas e preenchidas. As concentrações utilizadas (Tabela 1) foram de 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10% (m/m), conforme Koay et al. (2023), com ajustes baseados em pré-testes. A homogeneização foi realizada manualmente até completa uniformidade.

Tabela 1. Tratamentos contendo a adição de extrato da borra de café tradicional (T) ou especial (E), no doce de leite com diferentes concentrações (% m/m)

Tratamentos	Doce com extrato tradicional	Doce com extrato especial
T0	0,0	0
T1	1,0	0
T2	2,5	0
T3	5,0	0
T4	7,5	0
T5	10,0	0
E0	0	0
E1	0	1,0
E2	0	2,5
E3	0	5,0
E4	0	7,5
E5	0	10,0

2.7 Análises de caracterização físico-químicas dos extratos de café e das amostras de doce de leite adicionado de extratos de café

2.7.1 Umidade, pH, atividade de água (aw) e sólidos solúveis

A umidade dos extratos e das amostras de doce de leite foi realizada pelo método gravimétrico através da secagem da amostra em estufa (Ar SL 102, Solab), a 105 °C até o peso constante (IAL, 2008). O potencial hidrogeniônico (pH) dessas amostras foi determinado com pHmetro de bancada (Quimis, modelo 0400AS). Os teores de sólidos solúveis, expresso em °Brix, foram quantificados por leitura direta em refratômetro digital (ATAGO PR-100) e a atividade de água (aw) das amostras foram determinadas utilizando um higrômetro de ponto de orvalho (Aqualab Decagon Services 3TE, EUA) a $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

2.7.2 Teor de gordura, proteínas e cinzas

O conteúdo de gordura presente nos extratos foi determinado pelo método de Soxhlet. Enquanto a matéria gorda das amostras de doce foi determinada pelo método butirométrico de Gerber utilizando ácido sulfúrico e álcool amílico. A proteína bruta dos extratos e doce foram calculadas em função dos teores de nitrogênio determinados pelo método de Kjeldahl e utilizando o fator de conversão para 6,38 para as amostras de doce e 6,25 para os extratos. Já a fração de cinzas foi determinada pelo método gravimétrico com a calcinação das amostras em mufla (Fornitec, modelo 1926) a 550 °C até a completa carbonização. As análises foram realizadas empregando três repetições (IAL, 2008).

2.8 Textura do doce de leite pastoso adicionado de extratos de café

A textura instrumental dos doces foi determinada pela análise do perfil de textura (TPA) em um texturômetro TAXT Plus (Stable Micro System, Surrey, UK). Os testes foram conduzidos utilizando 30 ml de amostras, acondicionadas em béqueres vidros de 50 ml segundo a metodologia adaptada de Rocha et al. (2012). Uma probe cilíndrica de alumínio com 20 mm de diâmetro com velocidade de 4 mm/s, distância de 15 mm e tempo de 5 s entre as compressões foram empregados na análise. O equipamento foi calibrado com uma célula

de carga de 5 kg. Os dados foram coletados usando o software Texture Expert Exceed, (Stable Micro Systems, v. 2.64, Surrey, Reino Unido). A dureza, elasticidade, coesividade e mastigabilidade foram medidas. Os ensaios mecânicos foram realizados em três repetições.

2.9 Coloração dos doces e extratos de café

A cor instrumental das amostras foi analisada por meio de um colorímetro (Spectrophotometer CM-5, Konica Minolta, Japan), considerando a escala CIELab. Os parâmetros L^* , a^* , b^* , grau de saturação (C^*) e o ângulo de matiz (h°) foram mensurados. L^* indica luminosidade e varia de 0 (preto) a 100 (branco), enquanto a^* varia de verde a vermelho ($-a^*$, verde; $+a^*$, vermelho), b^* varia de azul a amarelo ($-b^*$, azul; $+b^*$, amarelo) (Bible; Singha, 1993). A diferença total de cor dos doces adicionados de extrato (ΔE^*) foi calculada usando a seguinte Equação 2 (Minolta, 2007)

$$\Delta E^* = \sqrt{(L^* - L0^*)^2 + (a^* - a0^*)^2 + (b^* - b0^*)^2} \quad (2)$$

Onde, L^* , a^* , b^* são as coordenadas da amostra medida e $L0^*$, $a0^*$, $b0^*$ são as coordenadas da amostra de referência (controle).

2.7 Análise Sensorial

Para realização da análise sensorial das amostras de doce de leite, o projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Lavras, sob o número CAAE 83739724.2.0000.5148. A análise sensorial das amostras de doce de leite foi realizada em duas sessões separadas com um total de noventa e cinco provadores em cada e foi utilizado as boas práticas sensoriais ISO 8589 (2007) (Lawless; Heymann, 2010). Os participantes receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) por escrito antes da realização dos testes. A análise foi conduzida em cabines individuais, sendo as amostras foram servidas de forma monádica distribuídas de forma aleatória. Para a limpeza do palato entre as amostras, foi fornecida água potável. Em seguida, foi aplicado um teste afetivo de aceitação (Anexos), utilizando uma escala hedônica de 9 pontos (9=gostei extremamente, 1=desgostei extremamente) para avaliar atributos como, cor, sabor, textura e aceitação geral e informa a intenção de compra para a amostra (5=certamente compraria, 1=certamente não compraria) (Dutcosky, 2019).

2.8 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi conduzido em um delineamento inteiramente casualizado (DIC) empregando nove tratamentos (Tabela 1) com três repetições. Todos os dados foram submetidos a uma análise de variância (ANOVA) e o teste de média Tukey ($p < 0,05$) utilizando o software SAS University Edition (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) e o software SensoMaker (versão 1.8). Os dados físico-químico e sensorial dos doces adicionados de extratos também foram auto escalados e em seguida analisados por análise de componentes principais (PCA) e análise de agrupamento hierárquico (HCA). O software Chemoface (versão 1.61, Brasil) foi utilizado para realizar estas análises (Nunes et al., 2012). Os gráficos foram plotados com o auxílio do SigmaPlot (versão 11.0).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização físico-química dos extratos obtidos das borras do café especial e tradicional

As borras de café especial e tradicional secas, bem como, seus respectivos extratos produzidos a partir das borras estão ilustrados na Figura 1a. Observa-se que a borra de café especial apresenta coloração menos intensa, típica de grãos que foram submetidos à torra média. Por outro lado, a borra de café tradicional possui uma tonalidade mais escura, indicando que foi empregado um processo de torra escura que é caracterizado pela torra mais intensa.

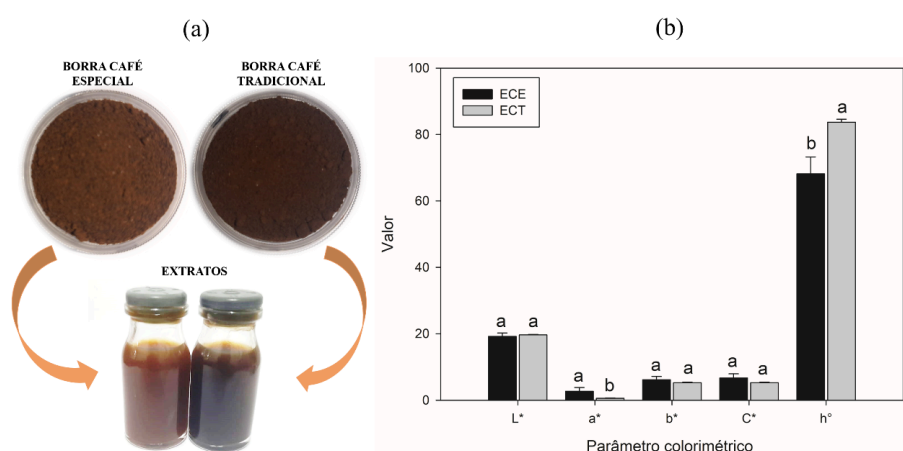


Figura 1. Borras e extratos da borra dos cafés especial e tradicional (a) e parâmetros colorimétricos dos extratos das borras de café especial e tradicional (b). As barras representam valores médios e a barra de erro corresponde ao desvio padrão. Barras com a mesma letra para o mesmo parâmetro de cor significa que não há diferença significativa pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

A variação na intensidade de cor das borras de café está relacionada às reações de Maillard e de caramelização, que ocorrem durante o processo de torra e resultam na formação de pigmentos escuros denominados melanoidinas (Ordóñez-Pereda et al., 2005). A distinção entre os diferentes graus de torra pode ser objetivamente avaliada por meio da escala Agtron, desenvolvida pela *Specialty Coffee Association* (SCA). Essa escala padroniza os níveis de torra com base em valores numéricos, a torra média situa-se em torno de #55, enquanto torras escuras próximos a #35.

A análise colorimétrica dos extratos revelou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) nos parâmetros de L^* , C^* e b^* dos extratos (Figura 1b). No entanto, foram observadas diferenças significativas para os parâmetros a^* e h° , indicando uma tonalidade distinta dos extratos. O extrato obtido da borra de café especial apresentou um valor de a^* superior e menor h° , esses resultados indicando uma tonalidade de coloração mais próxima ao vermelho (Bible; Singha, 1993).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros físico-químicos dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional, revelando diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos ($p < 0,05$).

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional.

Parâmetros físico-químicos	Tratamentos	
	Extrato do café especial (ECE)	Extrato de café tradicional (ECT)
a_w	0,991 ± 0,001 ^a	0,991 ± 0,002 ^a
pH	4,92 ± 0,01 ^b	5,45 ± 0,01 ^a
Sólidos solúveis (°Brix)	5,00 ± 0,00 ^b	6,33 ± 0,58 ^a
Umidade (%)	95,67 ± 0,01 ^a	94,28 ± 0,02 ^b
Extrato seco (%)	4,33 ± 0,01 ^b	5,72 ± 0,02 ^a
Proteína (%)	0,85 ± 0,04 ^a	0,42 ± 0,04 ^b
Gordura (%)	2,38 ± 0,48 ^b	4,32 ± 0,44 ^a
Cinza (%)	0,65 ± 0,07 ^a	0,21 ± 0,02 ^b

Os valores médios ± desvio padrão com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Apenas a atividade de água (a_w) não apresentou diferença estatística entre os extratos (Tabela 2), ambos apresentaram elevada atividade de água que favorece o crescimento de

microrganismos e as reações químicas no produto (Ordóñez-Pereda et al., 2005). Por isso, os extratos devem ser armazenados sob refrigeração e rapidamente aplicados.

Os demais parâmetros apresentaram diferença estatística ($p < 0,05$). O pH, o teor de sólidos solúveis, o extrato seco e a gordura do extrato de café tradicional foram maiores em comparação ao extrato do café especial (Tabela 2). Já o teor de proteínas foi evidentemente mais alto no extrato do café especial em comparação ao tradicional, isso pode ser atribuído à menor degradação térmica das proteínas durante a torra média. Grzelczyk et al. (2022) ao investigarem a estabilidade térmica de compostos bioativos em grãos de café e suas frações modificadas pelo processo de torra, relataram que o uso de temperaturas mais baixas no processamento térmico contribui para a preservação de compostos, como as proteínas, enquanto torras mais intensas promovem a degradação dessa macromolécula.

Em relação ao teor de cinzas, o extrato do café especial apresentou maior percentual deste parâmetro (Tabela 2). Esse resultado pode estar associado a diversas características do café na qual a borra foi extraída. A espécie do café empregado na fabricação da bebida, as características do local de origem dos grãos, a intensidade da torra e o método de fermentação aplicado são fatores que podem influenciar nos minerais do café e conseqüentemente na composição de sua borra (Janda et al., 2020).

3.2 Comportamento reológico dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional

O estudo do comportamento reológico de extratos alimentícios aromáticos é de grande importância para a indústria de alimentos, pois está diretamente relacionado à sua composição, ao escoamento em tubulações e bombas, bem como à incorporação e homogeneização em diferentes matrizes alimentícias (Steffe, 1996). Entre os parâmetros reológicos, a viscosidade representa a resistência de um fluido ao escoamento. Os fluidos podem apresentar comportamento newtoniano, caracterizado por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, ou não newtoniano, quando essa relação é não linear (Banerjee et al., 2025).

Assim, a reologia dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional foi verificada. As curvas de fluxo das amostras apresentaram características de fluido newtoniano, tendo em vista que há uma linearidade entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação (Figura 2). Sobolík et al. (2002) ao avaliarem extratos concentrados de café

solúvel, também observaram perfil de escoamento semelhante ao encontrado no presente trabalho.

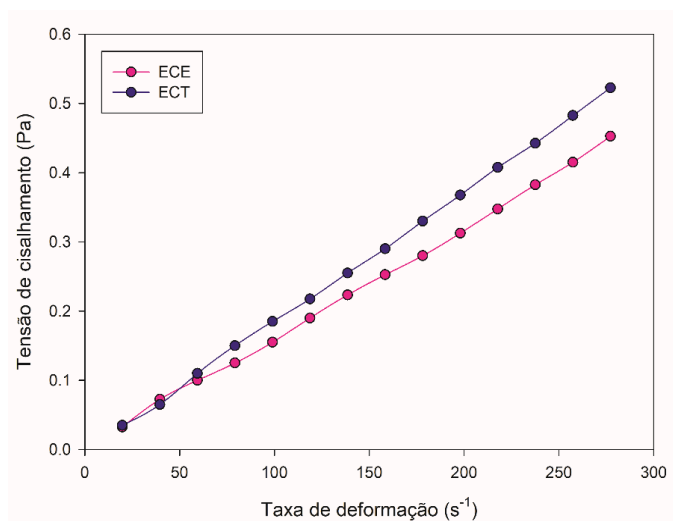


Figura 2. Curva de fluxo dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional. ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

O modelo newtoniano foi ajustado aos dados e observou-se elevados coeficientes de determinação ($R^2 \geq 0,987$), bem como, valores da raiz quadrada do erro médio (RMSE) inferiores a 0,013 (Tabela 3). Comparando os extratos, o extrato proveniente da borra de café tradicional apresentou maior viscosidade (1,864 mPa s) em relação ao extrato do café especial (1,597 mPa s). Esse resultado está associado ao maior teor de sólidos solúveis presente neste fluido (Tabela 2), porque um maior nível de sólidos dificulta o movimento das moléculas e influência na formação de ligações intermoleculares resultando em maior viscosidade (Junqueira et al., 2019).

Tabela 3. Parâmetros reológicos das soluções impregnantes

Solução impregnante	Modelo newtoniano		
	μ (mPa s)	RMSE	R^2
Extrato do café especial	$1,597 \pm 0,024^b$	0,013	0,987
Extrato de café tradicional	$1,864 \pm 0,049^a$	0,006	0,997

R^2 coeficiente de correlação, RMSE raiz quadrada do erro médio, μ é a viscosidade. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Viscosidades semelhantes foram observadas em soluções aquosas de café submetidos ao aquecimento, os quais apresentaram comportamento reológico newtoniano, com valores de viscosidade variando entre 1,99 e 1,037 mPa s, conforme aumentava a concentração de sólidos (5% a 50% m/m) presente nas amostras (Moreno et al., 2015). De forma semelhante, Silva et al. (2023) ao avaliarem extratos de café com concentrações variando de 10 a 52 °Brix também observaram que maiores concentrações resultou em maiores viscosidades do fluido.

3.3 Análise de antioxidantes dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional

O conteúdo de composto fenólicos totais e flavonoides, bem como a capacidade antioxidante dos extratos de borra de café foram investigados e os resultados são apresentados na Tabela 4. Os extratos obtidos das borras de café apresentaram diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) para os parâmetros analisados. Os extratos apresentaram elevada capacidade antioxidante enfatizando assim a importância da recuperação de compostos presentes nesse resíduo.

Tabela 4. Atividade antioxidante e compostos bioativos dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional

Parâmetros	Tratamentos	
	Extrato do café especial	Extrato de café tradicional
Fenólicos totais por Folin-ciocalteau (mg de ácido gálico/100g de amostra)	297,06 ± 39,34 ^a	84,02 ± 5,84 ^b
ABTS (µM de Trolox / 100g de amostra)	623,98 ± 29,53 ^a	214,32 ± 14,25 ^b
DPPH (µM de Ácido ascórbico / 100g de amostra)	751,15 ± 76,03 ^a	250,22 ± 61,76 ^b
FRAP (µM de Trolox / 100g de amostra)	666,66 ± 17,75 ^a	201,69 ± 12,50 ^b
Fosfomolibdenio (mg de Ácido ascórbico/100 g de amostra)	621,70 ± 42,12 ^a	376,13 ± 80,11 ^b

Flavonoides (mg de quercetina/100g de amostra)	210,94 ± 29,82 ^b	427,33 ± 11,81 ^a
--	-----------------------------	-----------------------------

Os valores médios ± desvio padrão com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O extrato de borra de café proveniente de café especial apresentou maior conteúdo de compostos fenólicos e atividade antioxidante (Tabela 4). As diferenças estão relacionadas à espécie do grão, ao grau de torra e ao método de extração empregado (Inácio et al., 2023).

Souza et al. (2020) avaliaram os grãos de *Coffea arabica* com torra clara (12 minutos a 230 °C), torra média (14 minutos a 240 °C) e torra escura (15 minutos a 245 °C) perceberam que a intensidade da torra influenciou significativamente na composição dos extratos obtidos por infusão. Os extratos de café foram secos e analisados quanto ao teor de compostos fenólicos totais, utilizando o reagente de Folin-Ciocalteu, e quanto à atividade antioxidante, por diferentes métodos. Os resultados demonstraram que os extratos provenientes de grãos submetidos à torra média e escura apresentaram menor atividade antioxidante em comparação aos obtidos da torra clara.

Entretanto, um resultado distinto foi observado em relação aos flavonoides totais, o extrato do café tradicional apresentou um valor significativamente superior em comparação ao extrato do café especial (Tabela 4). Comportamento similar foi encontrado por Odžakovic et al. (2016) ao avaliarem extratos de café *Coffea arabica* submetidos a diferentes graus de torra. Esses pesquisadores observaram que o teor de flavonoides totais aumentou significativamente nos grãos torrados em relação aos verdes, provavelmente a intensidade da torrefação favoreceu a liberação ou formação de compostos flavonoides detectados nos extratos de café.

Okur et al. (2021) ao extraírem polifenóis de borra de café usada por meio de extração convencional por solvente obtiveram maior conteúdo de fenólicos totais 650 mg GAE/100 g e menor capacidade antioxidante pelo método de FRAP ($570 \pm 0,05 \mu\text{mol FeSO}_4/100 \text{ g}$).

3.4 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional

A Figura 3 exibe os espectros obtidos por FTIR dos extratos liofilizados das borras de café especial (ECE) e tradicional (ECT). Os espectros possuem bandas diferentes, cujas posições e intensidades variam, refletindo as diferenças na composição dos extratos. Uma banda larga na região de 3200 a 3600 cm^{-1} foi observada e atribuída às ligações O–H presente

em fenóis, álcoois e água (Okur et al., 2021). Rouin et al. (2023) também atribuíram uma ampla vibração nesta região (3320 cm^{-1}) a presença de óleos e lignina extraídos da borra de café.

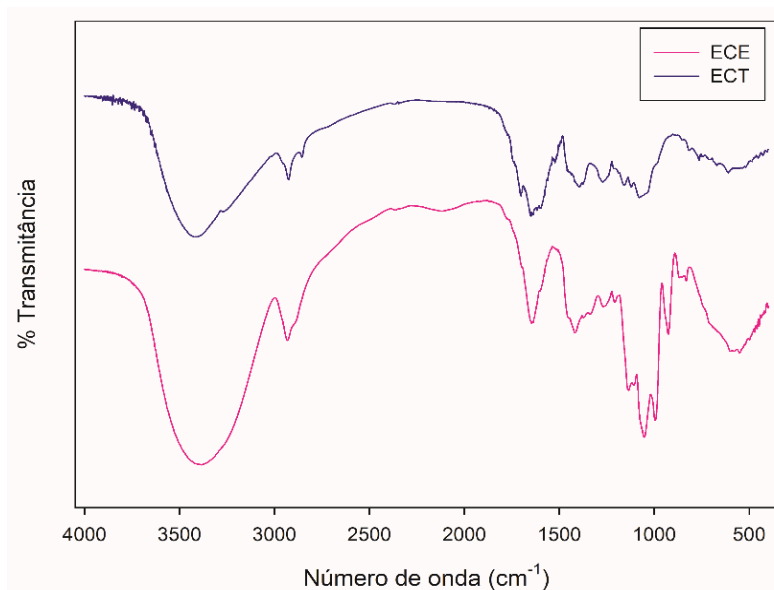


Figura 3. Espectroscopia de infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) dos extratos liofilizados obtidos das borras de café especial e tradicional. ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

Na faixa de 2850 a 2950 cm^{-1} , observam-se alongamentos assimétrico e simétrico das ligações C–H presentes em cadeias alifáticas (Figura 3). Essas bandas estão associadas aos grupos metila e metileno relacionados à cafeína (Okur et al., 2021). Além disso, essas bandas são compatíveis com a presença de resíduos lipídicos na borra de café (Rouin et al., 2023). Uma banda próxima a 1700 cm^{-1} refere-se a carbonila (C=O), geralmente atribuída a compostos como éster e ácidos também foi observada (Krinski et al., 2025). E na região de 1600 a 1650 cm^{-1} , identificou-se uma banda atribuída às vibrações C=C de anéis aromáticos, essa região também pode indicar a presença de lignina, lipídios ou de compostos aromáticos (Wang; Lim, 2012).

As bandas localizadas entre 900 e 1200 cm^{-1} são atribuídas principalmente às vibrações de C–O e C–N presentes em carboidratos complexos, ácidos clorogênicos e seus derivados (Clifford, 1999). Nessa mesma região, também podem ser observadas absorções relacionadas a ligações C–H (alifáticas), C–O (álcoois/ésteres), C–N (aminas) e P–O (fosfatos), indicando a presença de polissacarídeos e ácidos fenólicos, como os derivados do ácido quínico (Rouin et al., 2023).

3.5 Caracterização das amostras de doce de leite adicionado de extrato de café

Antes da elaboração dos doces de leite, o leite cru utilizado na produção foi avaliado quanto aos parâmetros físico-químicos. As análises incluíram determinação de gordura pelo método de Gerber, acidez titulável, densidade, extrato seco desengordurado (ESD), proteína e crioscopia. O leite apresentou acidez titulável de 16 °D, valor dentro da faixa de 14 a 18 °D estabelecida pela Instrução Normativa nº 76/2018. A densidade foi de 1,033 g/cm³ a 15 °C, em conformidade com o intervalo de 1,028 a 1,034 g/cm³, enquanto a crioscopia resultou em -0,541 °C, confirmando ausência de adição de água e atendendo ao limite legal de ≤ -0,520 °C. O extrato seco desengordurado apresentou teor de 9,51%, acima do mínimo exigido de 8,4%. Já a proteína total foi de 3,48%, superior ao valor mínimo de 2,9%, e o teor de gordura alcançou 3,92%, também acima do limite de 3,0%.

Todos os parâmetros analisados estavam dentro dos limites estabelecidos pela legislação vigente (Brasil, 2018), confirmando que o leite utilizado possuía qualidade compatível com os padrões exigidos para o processamento. O valor de acidez, embora aceitável, indicou necessidade de correção de 16 °D para 13 °D antes do início da produção, procedimento realizado por meio da adição de bicarbonato de sódio, conforme descrito na metodologia (Pacheco; Júnior, 2020). A composição proteica e o teor de sólidos também reforçam a adequação do leite para o processamento térmico.

3.5.1 Propriedades físico-químicas

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises físico-químicas realizadas nos doces de leite adicionados de extratos obtidos das borras de café especial (ECE) e tradicional (ECT). Foram avaliados os parâmetros de atividade de água (*a_w*), pH, sólidos solúveis (°Brix), umidade, teor de proteínas, gordura e cinzas.

Tabela 5. Parâmetros físico-químicos dos doces adicionados de extratos obtidos das borras de café especial e tradicional

Tratamentos	Parâmetros físico-químicos						
	a_w	pH	Sólidos solúveis (°Brix)	Umidade (%)	Proteína (%)	Gordura (%)	Cinzas (%)
Controle (doce sem extrato)	0,830 ± 0,004 ^{cd}	6,85 ± 0,01 ^{ef}	59,00 ± 0,00 ^a	30,46 ± 0,01 ^e	8,09 ± 0,20 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,88 ± 0,29 ^a
2,5% ECT	0,834 ± 0,010 ^{cd}	6,87 ± 0,01 ^{def}	57,00 ± 0,00 ^{bc}	32,10 ± 0,23 ^d	7,98 ± 0,20 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,69 ± 0,06 ^{ab}
5,0% ECT	0,861 ± 0,005 ^{ab}	6,88 ± 0,01 ^{cde}	56,00 ± 0,00 ^{cd}	33,72 ± 0,46 ^c	8,21 ± 0,00 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,65 ± 0,02 ^{ab}
7,5% ECT	0,873 ± 0,007 ^a	6,99 ± 0,01 ^a	55,00 ± 0,00 ^d	35,24 ± 0,13 ^b	8,09 ± 0,20 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,64 ± 0,06 ^{ab}
10% ECT	0,844 ± 0,013 ^{bc}	6,89 ± 0,02 ^{cd}	53,00 ± 0,00 ^e	36,68 ± 0,33 ^a	7,97 ± 0,41 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,56 ± 0,01 ^b
2,5% ECE	0,825 ± 0,019 ^{cd}	6,94 ± 0,02 ^b	57,33 ± 1,15 ^b	32,06 ± 0,42 ^d	8,09 ± 0,20 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,74 ± 0,03 ^{ab}
5,0% ECE	0,797 ± 0,004 ^e	6,95 ± 0,01 ^b	56,00 ± 0,00 ^{cd}	33,32 ± 0,33 ^c	8,21 ± 0,00 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,68 ± 0,04 ^{ab}
7,5% ECE	0,815 ± 0,008 ^{de}	6,92 ± 0,01 ^{bc}	55,00 ± 0,00 ^d	35,52 ± 0,17 ^b	7,86 ± 0,00 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,65 ± 0,05 ^{ab}
10% ECE	0,826 ± 0,007 ^{cd}	6,85 ± 0,01 ^f	52,00 ± 0,00 ^e	37,21 ± 0,69 ^a	8,21 ± 0,00 ^a	6,50 ± 0,00 ^a	1,58 ± 0,05 ^b

Os valores médios ± desvio padrão com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

A atividade de água variou de 0,797 a 0,873, sendo que o maior valor foi encontrado para o tratamento contendo 7,5% de ECT (Tabela 5). Francisquini et al. (2016) ao analisarem doze marcas de doce de leite pastoso comercial observou valor médio de atividade de água similar (0,860). Em relação ao pH o tratamento com 7,5% de ECT apresentou o maior valor de pH, enquanto a amostras com 10% de ECE apresentou o menor valor. E estatisticamente essa amostra (10% ECE) não diferenciou estatisticamente do controle. As variações entre as

amostras ocorrem em função dos compostos fenólicos ou ácidos orgânicos presentes nos extratos (Ordóñez Pereda et al, 2005).

A adição progressiva dos extratos de borra de café no doce de leite promoveu uma redução significativa ($p < 0,05$) do teor de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix), bem como, um aumento significativo ($p < 0,05$) da umidade (Tabela 5). A incorporação dos extratos no doce promoveu uma ligeira diluição dos sólidos solúveis das amostras, devido ao alto percentual de água. Surpreendentemente, as amostras, incluindo o controle, exibiram uma umidade superior ao percentual de 30% preconizado pela legislação brasileira (Brasil, 1997). Vale ressaltar que os resultados de umidade foram semelhantes ao teor de umidade de muitos doces comerciais avaliados por Francisquini et al. (2016), ressaltando a falta de padronização deste produto.

Em relação ao teor de proteínas e gordura, a adição dos extratos não alterou significativamente ($p < 0,05$) esses parâmetros nos tratamentos quando comparado ao controle (Tabela 5). Todas as amostras apresentaram o percentual mínimo de proteínas (5%) e gordura (6 a 9%) exigido pela legislação brasileira (Brasil, 1997). E o teor de cinzas foi inferior a 2 % e também atendeu a legislação. Guimarães et al. (2012) ao produzir diferentes doces de leite com café obteve produtos que atenderam ao percentual de umidade requerido pela legislação, entretanto, o teor de lipídeos, proteínas e cinzas não atenderam a faixa preconizada. Esses pesquisadores encontraram teor de gordura de 1 % e teor de proteínas e cinzas superiores a 10,74% e 2,15%, respectivamente.

3.5.2 Aspectos colorimétricos

A Figura 4 ilustra as amostras de doce de leite controle e acrescidas de diferentes concentrações de extratos. Os doces possuem aspecto pastoso com coloração castanho caramelado proveniente da reação de Maillard (Ordóñez Pereda et al., 2005).

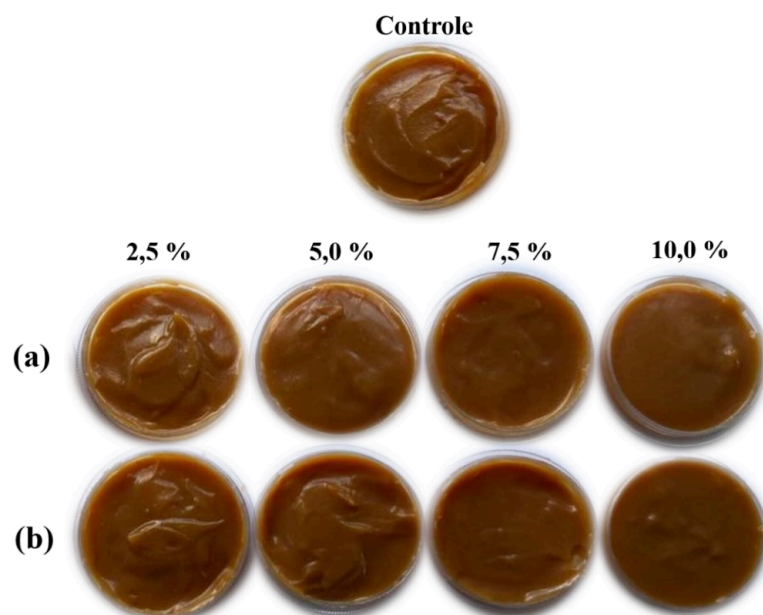


Figura 4. Doce de leite (a) adicionados de extrato de borra de café especial, (b) adicionados de extrato de borra de café tradicional.

A análise colorimétrica (Figura 5) demonstrou que a diferença total de cor (ΔE^*), o croma (C^*) e o ângulo hue (h°) foram significativamente influenciados pela concentração e pelo tipo de extrato adicionado. A Figura 5a evidenciou que o tratamento com 7,5% de ECE apresentou a maior variação significativa de cor ($p < 0,05$) com relação à amostra controle. A segunda maior variação de cor foi percebida para o tratamento com 7,5% de ECT.

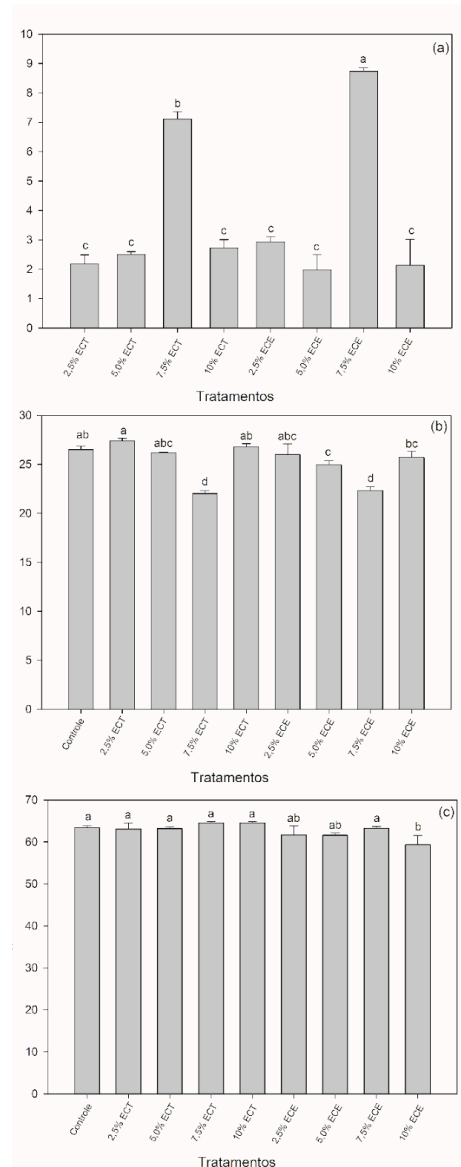


Figura 5. Análise colorimétrica dos doces com extratos obtidos das borras de café especial e tradicional: (a) variação de cor, (b) croma e (c) ângulo hue. ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

Conforme indicado na Figura 5b, os doces com a adição de 7,5% de extrato tradicional ou especial apresentaram menores valores de croma indicando que essas amostras possuem menor saturação de cor e mais opacidade (Minolta, 2007). Já o ângulo de matiz (h°), que define a tonalidade predominante da cor, manteve-se relativamente constante entre os tratamentos, exceto para a amostra com 10% de ECE, que apresentou tonalidade significativamente ($p < 0,05$) mais escura, sugerindo um deslocamento para tons mais avermelhados (Figura 4).

Resultados semelhantes foram encontrados por Hamidy et al. (2025) ao caracterizarem a coloração de borras de café *in natura*. Os autores relataram um valor de croma de aproximadamente 20,56 e um ângulo hue de 35,57°, indicando uma coloração escura, tendendo a tons alaranjados escuros, o que demonstra que a cor das borras apresenta tonalidades mais escuras e menos saturadas.

3.5.3 Análise de textura

Os parâmetros de textura obtidos por análise instrumental dos doces de leite formulados com extratos de borras de café tradicional (ECT) e especial (ECE) podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6. Textura dos doces de leite adicionados de extratos das borras de café especial e tradicional

Tratamentos	Parâmetros			
	Dureza (N)	Mastigabilidade (N mm)	Coesividade	Elasticidade
Controle (doce sem extrato)	1,13 ± 0,04 ^a	0,93 ± 0,04 ^a	0,880 ± 0,030 ^{ab}	0,931 ± 0,013 ^{ab}
2,5% ECT	0,99 ± 0,11 ^{ab}	0,77 ± 0,12 ^{ab}	0,870 ± 0,008 ^b	0,892 ± 0,033 ^b
5,0% ECT	0,88 ± 0,08 ^{bcd}	0,72 ± 0,07 ^{ab}	0,881 ± 0,021 ^{ab}	0,923 ± 0,019 ^{ab}
7,5% ECT	0,89 ± 0,03 ^{bcd}	0,73 ± 0,06 ^{ab}	0,886 ± 0,019 ^{ab}	0,923 ± 0,025 ^{ab}
10% ECT	0,58 ± 0,01 ^e	0,48 ± 0,01 ^c	0,892 ± 0,025 ^{ab}	0,934 ± 0,017 ^{ab}
2,5% ECE	0,96 ± 0,14 ^{abc}	0,82 ± 0,13 ^{ab}	0,923 ± 0,003 ^a	0,920 ± 0,012 ^{ab}
5,0% ECE	1,06 ± 0,01 ^{ab}	0,92 ± 0,01 ^a	0,898 ± 0,012 ^{ab}	0,964 ± 0,006 ^a
7,5% ECE	0,77 ± 0,07 ^{cde}	0,64 ± 0,08 ^{bc}	0,893 ± 0,016 ^{ab}	0,927 ± 0,017 ^{ab}
10% ECE	0,72 ± 0,06 ^{de}	0,60 ± 0,06 ^{bc}	0,885 ± 0,012 ^{ab}	0,945 ± 0,013 ^{ab}

Os valores médios ± desvio padrão com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

Observou-se que a dureza dos doces variou significativamente entre os tratamentos ($p < 0,05$). O tratamento controle (sem adição de extrato) apresentou a maior dureza. Em

contrapartida, o tratamento com 10% de ECT exibiu a menor dureza, sugerindo que a estrutura da matriz alimentar está menos rígida. Esse comportamento pode ser explicado pelo maior teor de umidade observado nesses tratamentos (Tabela 5), de modo que o extrato contribuiu para a diluição dos sólidos do doce, promovendo menor resistência à deformação.

O doce com 5% de extrato do café especial (ECE) apresentou dureza similar ao controle (1,06 N), enquanto as concentrações de 7,5% e 10% reduziram significativamente esse parâmetro ($p < 0,05$). Tais resultados indicam que a intensidade da dureza depende da concentração e do tipo de extrato utilizado. Maiores valores de dureza foram relatados por Francisquini et al. (2016) quando analisaram doces comerciais e obtiveram uma dureza mínima de aproximadamente 2,63 N.

De maneira similar, a mastigabilidade também diminuiu com o aumento da concentração dos extratos. O controle apresentou o maior valor, enquanto o tratamento com 10% ECT apresentou o menor (Tabela 5). A mastigabilidade foi mais preservada nos tratamentos com ECE nas concentrações (2,5% e 5%), sugerindo que o extrato do café especial confere menor impacto na textura do produto.

Os valores de coesividade variaram estatisticamente entre 0,880 e 0,923, indicando que as amostras apresentaram uma estrutura interna coesa. Além disso, esses resultados foram próximos aos valores de coesividade observados em diversos doces de leite comerciais, conforme relatado por Francisquini et al. (2016). A elasticidade também apresentou diferenças estatísticas significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos, oscilando entre 0,892 e 0,964. Esses dados sugerem que, embora a adição dos extratos tenha influenciado parâmetros como dureza e mastigabilidade, a capacidade do produto de retornar à sua forma original após compressão foi preservada.

3.6 Análise sensorial dos doces de leite adicionados de extrato da borra de café

A análise do perfil demográfico dos provadores que participaram da avaliação sensorial está representada na Figura 6.

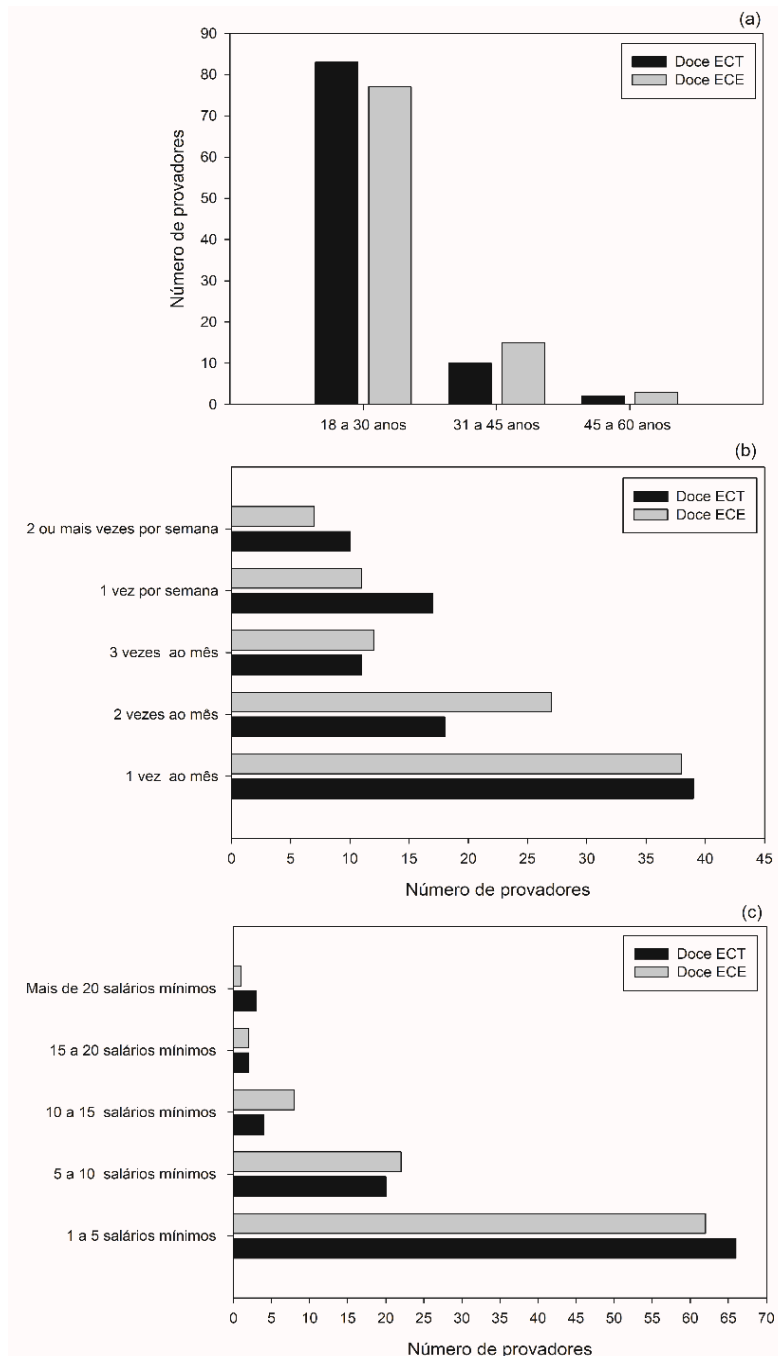


Figura 6. Dados demográficos dos provedores dos doces com extratos obtidos das borras de café especial (ECE) e tradicional (ECT): (a) faixa etária, (b) frequência de consumo de doce de leite e (c) renda.

Os participantes que pertenciam à faixa etária de 18 a 30 anos, tanto para o doce com ECT quanto para o doce com ECE, representaram aproximadamente 80 e 70 provedores, respectivamente. As faixas etárias de 31 a 45 anos e 45 a 60 anos apresentaram números consideravelmente menores de participantes, demonstrando que foram predominantemente compostas por adultos jovens (Figura 6a).

Em relação à frequência de consumo de doce de leite, verificou-se que a maioria dos provadores consomem o produto de forma ocasional, sendo as categorias mais representativas foi 1 vez ao mês (Figura 6b). Frequências mais elevadas, como o consumo 2 ou mais vezes por semana, foram menos comuns, indicando que o público avaliador não é majoritariamente consumidor habitual de doce de leite. Quanto à renda mensal, a maioria dos provadores informou receber entre 1 a 5 salários mínimos, representando aproximadamente 65 provadores para o doce ECT e 60 provadores para o doce ECE (Figura 6c).

A Tabela 7 apresenta os resultados da avaliação sensorial dos doces com extratos obtidos de borras de café tradicional (ECT) e especial (ECE) em diferentes concentrações (0%, 2,5%, 5,0%, 7,5% e 10%), comparados ao controle (doce sem extrato). Com exceção da cor todos, os demais atributos avaliados e a intenção de compra se diferiram estatisticamente ($p < 0,05$), indicando heterogeneidade entre as amostras do ponto de vista sensorial.

Tabela 7. Médias de aceitação dos atributos sensoriais dos doces de leite formulados com extratos das borras de café especial e tradicional

Tratamentos	Atributos				Intenção de compra
	Cor	Sabor	Textura	Impressão global	
Controle (doce sem extrato)	8,07 ^a	7,82 ^a	7,89 ^{ab}	7,87 ^a	4,14 ^a
2,5% ECT	8,06 ^a	7,37 ^{abc}	7,72 ^{ab}	7,68 ^{ab}	4,01 ^a
5,0% ECT	8,18 ^a	7,49 ^{ab}	8,01 ^a	7,67 ^{ab}	4,07 ^a
7,5% ECT	8,00 ^a	7,07 ^{bc}	7,54 ^{abc}	7,42 ^{ab}	3,76 ^{ab}
10% ECT	7,79 ^a	7,18 ^{abc}	6,96 ^c	7,30 ^{ab}	3,70 ^{ab}
2,5% ECE	7,97 ^a	7,29 ^{abc}	7,73 ^{ab}	7,43 ^{ab}	3,78 ^{ab}
5,0% ECE	8,04 ^a	7,24 ^{abc}	7,67 ^{ab}	7,48 ^{ab}	3,83 ^{ab}
7,5% ECE	7,92 ^a	7,09 ^{bc}	7,49 ^{abc}	7,33 ^{ab}	3,72 ^{ab}
10% ECE	7,86 ^a	6,77 ^c	7,30 ^{ab}	7,07 ^b	3,42 ^b

Os valores médios \pm desvio padrão com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). ECT = Extrato de borras de café tradicional; ECE = Extrato de borras de café especial.

Os consumidores não perceberam diferenças significativas ($p > 0,05$) na coloração das amostras quando foram empregadas diferentes concentrações dos extratos, indicando que,

mesmo com a adição das maiores concentrações, a tonalidade do produto permaneceu inalterada (Tabela 7). Quanto ao atributo sabor, a amostra controle recebeu a melhor avaliação, enquanto o tratamento com 10% de ECE apresentou redução significativa ($p < 0,05$) nas notas atribuídas pelos provadores. Esse resultado sugere que a incorporação de concentrações elevadas (7,5 e 10%) do extrato especial pode introduzir sabores residuais indesejáveis, possivelmente devido à maior presença de compostos fenólicos, especialmente taninos, extraídos da borra de café. Estudos como o de Soares et al. (2020) demonstram que taninos interagem com proteínas salivares, provocando sensações de amargor e adstringência, afetando a percepção sensorial do produto. Para este atributo, concentrações intermediárias de extratos (2,5% a 5%) apresentaram boa aceitação pelos consumidores.

Em relação à textura, os tratamentos contendo 7,5 ou 10 % de extratos apresentaram menores notas média significativa ($p < 0,05$) de aceitação para esse atributo (Tabela 7). Essa redução pode estar relacionada à interferência que o percentual de água e os compostos presentes nos extratos exercem na estrutura do doce, afetando a cremosidade percebida pelos avaliadores. Resultados semelhantes foram observados por Kandyliari et al. (2023) quando enriqueceram produtos lácteos com extratos aquosos de plantas e subprodutos vegetais. Esses pesquisadores relataram alterações nas características organolépticas, incluindo na textura dos produtos.

A impressão global dos produtos variou de 7,07 a 7,87 (Tabela 7). Quando avaliaram doces de leites comerciais, Gaze et al. (2015) obteve valores médios para aceitação geral similar ao do presente trabalho. O resultado desse atributo foi significativamente menor no tratamento com 10% ECE, quando comparado ao controle. As demais formulações, incluindo os extratos até 7,5%, mantiveram avaliação global semelhante à do controle. De modo geral os resultados indicaram que o limite sensorial para a adição dos extratos deve ser inferior a 7,5%.

Segundo a Tabela 7 a intenção de compra do tratamento com 10% ECE foi estatisticamente menor ($p < 0,05$). Esse resultado evidencia que a concentração de 10% do extrato especial reduz a aceitação global e o potencial de mercado do produto. As demais amostras não apresentaram diferenças estatisticamente significativas em relação ao controle.

Os resultados indicam que a incorporação de extratos de borras de café, tanto tradicionais quanto especiais, é mais aceito em concentrações intermediárias (2,5% ou 5%). Acima desse nível, especialmente com o extrato especial, observam-se impactos negativos em

sabor, textura, impressão global e intenção de compra, parâmetros que devem ser considerados no desenvolvimento do produto.

3.7 Análise de componentes principais (PCA) e agrupamento hierárquico (HCA)

Os parâmetros físico-químicos (atividade de água, pH, sólidos solúveis, umidade, proteínas, cinzas, cora e ângulo hue), textura (dureza, mastigabilidade, coesividade e elasticidade) e sensoriais (cor, sabor, textura, impressão global e intenção de compra) dos doces dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional forma submetidos a análise de componentes principais e agrupamento hierárquico (Figura 7).

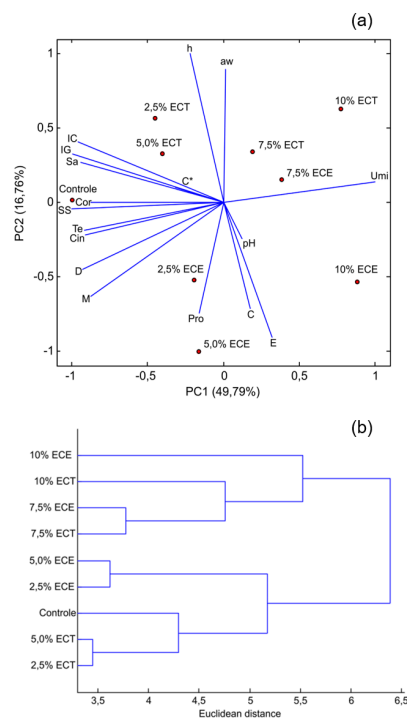


Figura 7. Análise multivariada dos doces dos extratos obtidos das borras de café especial e tradicional. (a) análise de componentes principais (PCA), (b) análise de agrupamento hierárquico (HCA). aw = atividade de água; SS = sólidos solúveis; Umi = umidade; Pro = proteína; Cin = cinzas; C* = cora; h = ângulo hue; D = dureza; M = mastigabilidade; C = coesividade; E = elasticidade; Sa = sabor; Te = textura; IG = impressão global; IC = intenção de compra.

A componente principal 1 (PC1) e componente principal 2 (PC2) explicaram 66,55 % da variância total dos dados, sendo que a PC1 foi responsável por maior explicação (Figura 7a). A PCA agrupou as amostras em dois grandes grupos, o primeiro grupo é composto pela amostra de doce de leite controle (isenta de extrato proveniente da borra de café) e as amostras contendo 2,5 % ou 5,0 % de extrato de borra proveniente do café especial (ECE) ou tradicional (ECT). Enquanto, o segundo contém as amostras de doce de leite adicionadas de

7,5 % ou 10 % de ECE ou ECT. O agrupamento hierárquico por distância euclidiana (HCA) (Figura 7b) confirmou a tendência observada na PCA, ainda o dendrograma evidenciou que as amostras com maiores teores de extrato (10 % ECE e 10 % ECT) foram as mais distintas, reforçando a influência significativa dessas concentrações de extrato nas características finais dos doces.

A semelhança entre os tratamentos presente no primeiro grupo está associada aos maiores teores de sólidos solúveis, dureza e mastigabilidade (Tabela 5 e 6). Além disso, pela análise sensorial essas amostras obtiveram maiores notas médias para os atributos de sabor, textura e impressão global, bem como, maiores valores para as intenções de compra (Tabela 7). Já no segundo grupo as amostras apresentam elevados conteúdos de umidade, tendo em vista que nestes tratamentos (7,5 % ou 10 % de ECE ou ECT) foram adicionados maiores percentuais dos extratos que possuem elevados percentuais de umidade (Tabela 5). Assim, através das análises instrumentais e sensoriais foi possível observar que a adição de 2,5% ou 5,0% de extratos de borra de café no doce leite causou ligeiras alterações no produto de forma que em concentrações adequadas os extratos podem ser incorporados no doce de leite, enriquecendo-o nutricionalmente sem ocasionar alterações indesejadas.

4. CONCLUSÃO

A adição de extratos de borra de café ao doce de leite é viável até 5%, mantendo a qualidade sensorial e físico-química do produto. Os extratos apresentaram alto potencial funcional, com elevado teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

5. REFERÊNCIAS

- Ahanchi M, Sugianto EC, Chau A, Khoddami A (2024) Quality Properties of Bakery Products and Pasta Containing Spent Coffee Grounds (SCGs): A Review. *Foods* 13:1–21. <https://doi.org/10.3390/foods13223576>
- Ballesteros LF, Teixeira JA, Mussatto SI (2014) Chemical, Functional, and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. *Food Bioprocess Technol* 7:3493–3503. <https://doi.org/10.1007/s11947-014-1349-z>
- Banerjee S, Dubief Y, Dewoolkar M, et al (2025) Inferring apparent Newtonian viscosities of liquefied soils from physical models – Analysis using computational fluid dynamics. *Soil Dyn Earthq Eng* 190:109170. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2024.109170>
- Bible BB, Singha S (1993) Canopy position influences CIELAB coordinates of peach color. *HortScience* 28:992–993. <https://doi.org/10.21273/hortsci.28.10.992>
- Brasil (1997) Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Portaria MAPA nº 354, de 04 de setembro de 1997 - Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade de Doce de Leite. 00:45
- Campos-Vega R, Loarca-Piña G, Vergara-Castañeda HA, Dave Oomah B (2015) Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. *Trends Food Sci Technol* 45:24–36. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>
- Chiyanzu I, Brienza M, García-Aparicio M, et al (2014) Spent coffee ground mass solubilisation by steam explosion and enzymatic hydrolysis
- Choe U (2025) Valorization of spent coffee grounds and their applications in food science. *Curr Res Food Sci* 10:1–5. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101010>
- Clifford MN (1999) Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence and dietary burden. *J Sci Food Agric* 165:302. <https://doi.org/10.1038/165302a0>
- Costa CAR da, do Nascimento SV, da Silva Valadares RB, et al (2024) Proteome and metabolome of *Caryocar brasiliense* camb. fruit and their interaction during development. *Food Res Int* 191:. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114687>
- Dutcosky SD (2019) *Análise sensorial de alimentos*, 5th edn. Pucpress
- Ferreira L de O, Pimenta CJ, Santos G, et al (2012) Adição de soro de leite e café na qualidade do doce de leite pastoso. *Ciência Rural* 42:1314–1319. <https://doi.org/10.1590/s0103-84782012000700028>
- Francisquini JDA, de Oliveira LN, Pereira JPF, et al (2016) Avaliação da intensidade da reação de Maillard, de atributos físico-químicos e análise de textura em doce de leite. *Rev Ceres* 63:589–596. <https://doi.org/10.1590/0034-737X201663050001>
- Gaze L V., Oliveira BR, Ferrao LL, et al (2015) Preference mapping of dulce de leche commercialized in Brazilian markets. *J Dairy Sci* 98:1443–1454.

<https://doi.org/10.3168/jds.2014-8470>

- Grzelczyk J, Fiurasek P, Kakkar A, Budryn G (2022) Evaluation of the thermal stability of bioactive compounds in coffee beans and their fractions modified in the roasting process. *Food Chem* 387:.. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132888>
- Guimarães ÍCDO, Helena Miguez Da Rocha Leão M, Pimenta CJ, et al (2012) DEVELOPMENT AND DESCRIPTION OF LIGHT FUNCTIONAL DULCE DE LECHE WITH COFFEE Desenvolvimento e descrição de doce de leite light funcional com café. 36:195–203
- Hamidy R, Rachman H, Sulisty J, Joko A (2025) Extraction and Characterization of Cellulose from Arabica Spent Coffee Grounds. *J IPTEK* 29:95–104. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2025.v29i1.7815>
- Heo J, Adhikari K, Choi KS, Lee J (2020) Analysis of caffeine, chlorogenic acid, trigonelline, and volatile compounds in cold brew coffee using high-performance liquid chromatography and solid-phase microextraction—gas chromatography-mass spectrometry. *Foods* 9:.. <https://doi.org/10.3390/foods9121746>
- IAL (2008) Instituto Adolfo Lutz. *Rev. Inst. Adolfo Lutz* 1:1020
- Im AE, Choi J, Park HS, Nam SH (2025) Extraction of mannoooligosaccharides from spent coffee grounds and its application for functional jelly with improved physical properties and immunomodulatory effect. *J Food Sci Technol* 62:572–583. <https://doi.org/10.1007/s13197-024-06103-z>
- Inácio HP, Santetti GS, Dacoreggio MV, et al (2023) Effects of different extraction methods on the phenolic profile, antioxidant and antimicrobial activity of the coffee grounds and coffee silverskin (*Coffea arabica* L. *JSFA reports* 139
- Janda K, Jakubczyk K, Baranowska-Bosiacka I, et al (2020) Mineral composition and antioxidant potential of coffee beverages depending on the brewing method. *Foods* 9:.. <https://doi.org/10.3390/foods9020121>
- Junqueira LA, da Silva VM, Amaral TN, et al (2019) Effects of temperature and concentration on the rheological properties of mucilage extracted from *Pereskia aculeata* Miller. *J Food Meas Charact* 13:2549–2562. <https://doi.org/10.1007/s11694-019-00175-8>
- Kandyliari A, Potsaki P, Bousdouni P, et al (2023) Development of Dairy Products Fortified with Plant Extracts: Antioxidant and Phenolic Content Characterization. *Antioxidants* 12:1–21. <https://doi.org/10.3390/antiox12020500>
- Koay HY, Azman AT, Mohd Zin Z, et al (2023) Assessing the impact of spent coffee ground (SCG) concentrations on shortbread: A study of physicochemical attributes and sensory acceptance. *Futur Foods* 8:100245. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100245>
- Krinski IM, Leite VR, Moura LM, Mariani VC (2025) Critical Extraction Parameters for Maximizing Oil Yield from Spent Coffee Grounds. *Energies* 18:1–17. <https://doi.org/10.3390/en18061346>
- Lawless HT., Heymann H (2010) *Sensory evaluation of food: Principles and practices*, 2nd

edn. Springer, New York

- López-Silva M, García-Valle DE (2024) Ice cream cone fortified with spent coffee ground: Chemical composition, quality and sensory characteristics, and in vitro starch digestibility. *Food Chem* 459:.. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.140288>
- Machado E, Mussatto SI, Teixeira J, et al (2018) Increasing the sustainability of the coffee agro-industry: Spent coffee grounds as a source of new beverages. *Beverages* 4:.. <https://doi.org/10.3390/beverages4040105>
- Machado GGL, Araújo ABS, de Oliveira Meira ACF, et al (2024) Bioactive capacity of peanuts with different coat colors. *Eur Food Res Technol* 250:2745–2756. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04572-2>
- Minolta (2007) *Precise Color Communication: Color Control from perception to instrumentation*. 1–62
- Montemurro M, Casertano M, Vilas-Franquesa A, et al (2024) Exploitation of spent coffee ground (SCG) as a source of functional compounds and growth substrate for probiotic lactic acid bacteria. *Lwt* 198:115974. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115974>
- Moreno FL, Raventós M, Hernández E, et al (2015) Rheological behaviour, freezing curve, and density of coffee solutions at temperatures close to freezing. *Int J Food Prop* 18:426–438. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.833221>
- Mussatto SI, Machado EMS, Martins S, Teixeira JA (2011) Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food Bioprocess Technol* 4:661–672. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z>
- Nunes CA, Freitas MP, Pinheiro ACM, Bastos SC (2012) Chemoface: A novel free user-friendly interface for chemometrics. *J Braz Chem Soc* 23:2003–2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-50532012005000073>
- Odžakovic B, Džinic N, Kukric Z, Grujic S (2016) Effect of roasting degree on the antioxidant activity of different Arabica coffee quality classes. *Acta Sci Pol Technol Aliment* 15:409–417. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2016.4.39>
- Okur I, Soyler B, Sezer P, et al (2021) Improving the Recovery of Phenolic Compounds from Spent. *Molecules* 26:613
- Oliveira JPL de, Santos IA, Souza LR de, et al (2023) Evaluation of the antioxidant activity and total phenolic compounds of lychee pulp by different dehydration methods. *Rev Eng na Agric - REVENG* 31:43–50. <https://doi.org/10.13083/reveng.v30i1.14699>
- Ordóñez-Pereda JA., RODRÍGUEZ MIC., ÁLVAREZ LF., et al (2005) *Tecnologia de alimentos: Componentes dos alimentos e processos*, 1st edn. Artmed, Porto Alegre
- Ordóñez Pereda JA, RODRÍGUEZ MIC, ÁLVAREZ LF, et al (2005) *Tecnologia de alimentos: alimentos de origem animal*, 2nd edn. Artmed, Porto Alegre
- Paradiso VM, Castellino M, Renna M, et al (2018) Nutritional characterization and shelf-life of packaged microgreens. *Food Funct* 9:5629–5640. <https://doi.org/10.1039/c8fo01182f>

- Ribeiro JS, Augusto F, Salva TJG, et al (2009) Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. *Anal Chim Acta* 634:172–179. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2008.12.028>
- Rocha LOF., Pimenta CJ., Rezende DACS, Oliveira RME (2012) Avaliação físico-química e sensorial de doce de leite elaborado com extrato hidrossolúvel de soja e soro de leite sabor café. *Rev Bras Prod Agroindustriais* 7:251–259. <https://doi.org/10.15871/1517-8595/rbpa.v14n3p251-259>
- Rouin G, Abdelmouleh M, Mallah A, Masmoudi M (2023) Oil Extracted from Spent Coffee Grounds as a Green Corrosion Inhibitor for Copper in a 3 wt% NaCl Solution. *Coatings* 13:. <https://doi.org/10.3390/coatings13101745>
- Rufino M do SM, Alves RE, de Brito ES, et al (2010) Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chem* 121:996–1002. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.01.037>
- Samsalee N, Sothornvit R (2021) Physicochemical, functional properties and antioxidant activity of protein extract from spent coffee grounds using ultrasonic-assisted extraction. *AIMS Agric Food* 6:864–878. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2021052>
- Silva ACC da, Biz AP, Longhi DA, Schmidt FC (2023) Effect of concentration and temperature on the physical and thermophysical properties of coffee extract. *J Food Eng* 340:111304. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2022.111304>
- Soares S, Brandão E, Guerreiro C, et al (2020) Tannins in food: Insights into the molecular perception of astringency and bitter taste. *Molecules* 25:1–26. <https://doi.org/10.3390/molecules25112590>
- Sobolík V, Žitný R, Tovcigrecko V, et al (2002) Viscosity and electrical conductivity of concentrated solutions of soluble coffee. *J Food Eng* 51:93–98. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00042-5](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00042-5)
- Souza LDS De, Carrero Horta IP, De Souza Rosa L, et al (2020) Effect of the roasting levels of: *Coffea arabica* L. extracts on their potential antioxidant capacity and antiproliferative activity in human prostate cancer cells. *RSC Adv* 10:30115–30126. <https://doi.org/10.1039/d0ra01179g>
- Steffe JF (1996) *Rheological methods in food process engineering*, 2nd edn. Freeman Press, Michigan
- Wang N, Lim LT (2012) Fourier transform infrared and physicochemical analyses of roasted coffee. *J Agric Food Chem* 60:5446–5453. <https://doi.org/10.1021/jf300348e>
- Yashin A, Yashin Y, Xia X, Nemzer B (2017) Chromatographic Methods for Coffee Analysis: A Review. *J Food Res* 6:60. <https://doi.org/10.5539/jfr.v6n4p60>

TERCEIRA PARTE:

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que a valorização de resíduos agroindustriais, como a borra de café, pode ser efetivamente convertida em inovação na indústria de alimentos, aliando sustentabilidade, funcionalidade e viabilidade tecnológica. A proposta de utilizar extratos obtidos de borras de café tradicional e especial, aplicados em doce de leite pastoso, consolidou-se como uma alternativa promissora diante dos desafios contemporâneos de reaproveitamento de coprodutos e desenvolvimento de alimentos mais alinhados aos princípios da economia circular.

Ao longo da pesquisa, foi possível desenvolver um extrato funcional com potencial antioxidante, aplicar metodologias analíticas completas (físico-químicas, texturais, sensoriais e multivariadas) e interpretar criticamente seus resultados frente à legislação e à aplicabilidade prática. A utilização da borra de café mostrou-se viável em concentrações controladas, sem comprometer a qualidade do produto, o que reforça o valor agregado que pode ser gerado a partir de resíduos considerados de baixo custo e elevado volume de geração.

As análises realizadas permitiram compreender os limites de uso do extrato, bem como os impactos sensoriais e tecnológicos, e indicaram possibilidades de aperfeiçoamento do processo. Essa abordagem científica, aliada ao foco em soluções sustentáveis, torna a pesquisa relevante tanto no contexto acadêmico quanto no industrial. Por fim, esta dissertação representa uma contribuição significativa para o avanço do conhecimento na área de Ciência e Tecnologia de Alimentos, evidenciam o potencial da borra de café como ingrediente e reforçam a importância de pesquisas voltadas para o desenvolvimento de alimentos mais conscientes, acessíveis e integrados aos compromissos ambientais e sociais.

REFERÊNCIAS

- AGNOLETTO, B. Z.; OLIVEIRA, E. C. S.; PINHEIRO, P. F.; SARAIVA, S. H. Discriminação de Café Arábica e Conilon Utilizando Propriedades Físico-Químicas Aliadas à Quimiometria. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 3, p. 862-874, 2019. DOI: 10.21577/1984-6835.20190057.
- ALCANTARA, G. M. R. N. **Comparação das espécies químicas não voláteis entre cafés especiais e tradicionais**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2020.
- ALMEIDA, A. et al. Chemical Reactivity Indices of the Caffeine Molecule. **Revista Virtual de Química**, v. 8, n. 2, p. 483-492, 2016. DOI: 10.5935/1984-6835.20160035.
- ALVES, B. H. P. **Análise Química do Aroma e da Bebida de Cafés de Minas Gerais e Espírito Santo em Diferentes Graus de torra**. Tese- Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- ALVES, M. A. M.; COSTA, M. A. S. Avaliação sensorial de doce de leite com calda de café. In: CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 5., 2010, Maceió. **Anais**. Maceió: IFAL, 2010.
- ANGELONI, S. et al. Characterization of the aroma profile and Main key odorants of espresso coffee. **Molecules**, v. 26, n. 13, p. 3856, 2021. DOI: 10.3390/molecules26133856.
- ARAÚJO, J. M. A. **Química de alimentos: teoria e prática**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 1999.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Café Especial: entenda o selo que garante qualidade e segurança para a bebida. [S. l.]: ABIC, 2023b. Disponível em: <https://exame.com/casual/cafe-especial-passa-a-ser-certificado-pela-abic-que-garante-qualidade-e-seguranca/>. Acesso em: 29 jan. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Indicadores da Indústria de Café | 2022: Desempenho da Produção e do Consumo Interno. Rio de Janeiro: ABIC, 2023. Disponível em: <https://estatisticas.abic.com.br/estatisticas/indicadores-da-industria/indicadores-da-industria-de-cafe-2022/>. Acesso em: 29 dez. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. O café brasileiro na atualidade. [Rio de Janeiro]: ABIC, 2021. Disponível em: <https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/o-cafe-brasileiro-na-atualidade/>. Acesso em: 13 jul. 2024.
- BALLESTEROS, L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Chemical, functional, and structural properties of spent coffee grounds and coffee silverskin. **Food and Bioprocess Technology**, v. 7, n. 12, p. 3493–3503, 2014. DOI:10.1007/s11947-014-1349-z.
- BELITZ, H. D.; GROSCHE, W.; SCHIEBERLE, P. Coffee, tea, cocoa. **Food chemistry**. 4. ed. Berlin: Springer, p. 938-970, 2009.
- BRASIL. Portaria nº 354, de 04 de setembro de 1997. Regulamento Técnico de identidade e qualidade de doce de leite. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 172, p. 37-38, 8 set. 1997. Seção I.

BRASIL. Decreto nº 9.013, de 29 de março de 2017. Regulamento da Inspeção Industrial e Sanitária de Produtos de Origem Animal. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 30 mar. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 8, de 11 de junho de 2003. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade para Classificação do Café Beneficiado Grão Cru. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 12 jun. 2003.

BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. **Cafés especiais do Brasil**: guia de qualidade e classificação sensorial. Varginha, MG: BSCA, 2023. Disponível em: <https://bsca.com.br>. Acesso em: 7 jun. 2025.

CAMPOS-VEGA, R. et al. Spent coffee grounds (*Coffea arabica* L.) powder promotes satiety and attenuates energy intake: a pilot study. **Journal of Food Biochemistry**, v. 44, n. 7, e13204, 2020. DOI: 10.1111/jfbc.13204.

CAMPOS-VEGA, R. et al. Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. **Trends in Food Science & Technology**, v. 45, n. 1, p. 24–36, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.04.012>.

CHIYANZY, I. et al. Energy potential of spent coffee grounds. **Renewable Energy**, v. 67, p. 431–437, 2014. DOI: 10.1016/j.renene.2013.11.023

CHOE, U. Recent advances on the application of spent coffee grounds in foods. **Food Reviews International**, v. 10, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2025.101010>.

CLIFFORD, M. N. Chlorogenic acids and other cinnamates – nature, occurrence and dietary burden. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 79, p. 362–372, 1999. DOI: 10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<362:AID-JSFA256>3.0.CO;2-Q.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**. Brasília, DF, v. 11, n. 2, 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe/boletim-da-safra-de-cafe>. Acesso em: 13 jul. 2025.

CORTEZ, J. G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

DART, S. K.; NURSTEN, H. E. **Coffee Chemistry**. 2. ed. London: Elsevier Applied Science, 1989.

DEBONA, D. G. et al. Avaliação da composição química de café arábica submetido a diferentes perfis de torra. **Revista Ifes Ciência**, v. 6, n. 3, p. 124-133, 2020. DOI: 10.36524/ric. v6i3.864.

ELIAS, A. M. T. **Perfil físico-químico de blends de variedades de café em diferentes condições do processo de torrefação**. 2019. Dissertação (Mestrado em Produção Agrícola) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Garanhuns, 2019.

FADAI, N. T. et al. A heat and mass transfer study of coffee bean roasting. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v. 104, p. 787-799, 2017. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.08.083.

FARAG, M. A. et al. Metabolomics-based approach for coffee beverage improvement in the context of processing, brewing methods, and quality attributes. **Foods**, v. 11, n. 6, p. 864, 2022. DOI: 10.3390/foods11060864.

FENG, J. et al. Maillard reaction products as functional components in oil-in-water emulsions: A review highlighting interfacial and antioxidant properties. **Trends in Food Science & Technology**, v. 121, p. 129–141, 2022. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.02.008.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Conilon Coffee: The Coffea canephora produced in Brazil**. 3. ed. Vitória: Incaper, 2019.

FERREIRA, L. O. et al. Adição de soro de leite e café na qualidade do doce de leite pastoso. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1314–1319, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012000700028.

FLAMENT, I. **Coffee Flavor Chemistry**. Chichester: Wiley, 2002.

FREIRIA, E. F. C. **Bromatologia**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional, ISBN 97885-52205340, p. 216, 2018.

FREITAS, M. N. et al. Identification of Physiological Analysis Parameters Associated with Coffee Beverage Quality. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, e031019, 2020. DOI: 10.1590/1413-7054202044031019.

FREITAS, S. P. et al. Avaliação de métodos de extração do óleo de café. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, p. 69–76, 2008. DOI: 10.1590/S1981-09972008000100010.

GONZALEZ, E. A. S. **Estudo da viabilidade de implantação de pequenas unidades de torrefação de café**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estácio de Sá, Rio de Janeiro, 2004.

GUAN, Y.; YAO, H. Optimization of enzymatic hydrolysis conditions for the production of antioxidant peptides from soy protein isolate. **Food Chemistry**, v. 111, n. 2, p. 370–376, 2008. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.017.

HEO, J. et al. Analysis of caffeine, chlorogenic acid, trigonelline, and volatile compounds in cold brew coffee using high-performance liquid chromatography and solid-phase microextraction—gas chromatography-mass spectrometry. **Foods**, v. 9, n. 12, p. 1746, 2020. DOI: 10.3390/foods9121746.

HUDEČKOVÁ, H. et al. Enzymatic hydrolysis of spent coffee grounds enhanced by surfactants. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, p. 1143–1152, 2018. DOI: 10.1007/s12649-018-0245-1.

JESZKA-SKOWRON, M.; FRANKOWSKI, R.; ZGOŁA-GRZEŚKOWIAK, A. Comparison of methylxantines, trigonelline, nicotinic acid and nicotinamide contents in brews of green and processed Arabica and Robusta coffee beans – Influence of steaming, decaffeination and roasting processes on coffee beans. **LWT - Food Science and Technology**, v. 125, p.109344, 2020. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109344.

- KOAY, H. Y. et al. Assessing the impact of spent coffee ground (SCG) concentrations on shortbread: a study of physicochemical attributes and sensory acceptance. **Future Foods**, v. 8, 100245, 2023. DOI: 10.1016/j.fufo.2023.100245.
- LEE, L. W. et al. Coffee fermentation and flavor - An intricate and delicate relationship. **Food Chemistry**, v. 185, p. 182-191, 2015. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.124.
- LÓPEZ-SILVA, M.; GARCÍA-VALLE, D. E. Ice cream cone fortified with spent coffee grounds: Chemical composition, quality and sensory characteristics, and in vitro starch digestibility. **Food Chemistry**, v. 467, 142399, 2025. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.140288.
- MACHADO, E. et al. Increasing the sustainability of the coffee agro-industry: spent coffee grounds as a source of new beverages. **Beverages**, v. 4, n. 4, p. 105, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/beverages4040105>.
- MARTINS, A. L. **História do café**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2017.
- MASINO, F. et al. Extraction and characterization of functional ingredients from spent coffee grounds. **Food Chemistry**, v. 375, p.131885, 2022. DOI: 10.1016/j.foodqual.2021.104427.
- MATTHÄUS, B. Utilization of by-products of the food industry: Oil from coffee grounds. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 110, p. 835–840, 2008. DOI: 10.1002/ejlt.200800010.
- MELO, M. L. O; ELIAS, A. M. T.; SILVA, S. O. Identificação dos principais defeitos intrínsecos e extrínsecos para fins de classificação de grãos de café (*Coffea arábica* e *Coffea conilon*) distribuídos a empresas do agreste pernambucano. **IV Congresso Internacional Das Ciências Agrárias**, 2019. DOI:10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0092.
- MOEENFARD, M.; ALVES, A. New trends in coffee diterpenes research from technological to health aspects. **Food Research International**, v. 134, 109207, 2020. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109207.
- MOON, J. K.; SHIBAMOTO, T. Antioxidant assays for plant and food components. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 57, 1655–1666, 2009. DOI: 10.1021/jf803537k.
- MORO, O.; HOUGH, G. Total solids and density measurements of dulce de leche, a typical argentine dairy product. **Journal of Dairy Science**, Buenos Aires, v. 68, p. 521-525, 1984. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(85\)80853-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(85)80853-5)
- MUSSATTO, S. I. et al. Production, composition, and application of coffee and its industrial residues. **Food and Bioprocess Technology**, v. 4, p. 661–672, 2011. DOI: 10.1007/s11947-011-0565-z.
- OLIVEIRA, L. S. et al. Proximate composition and fatty acids profile of green and roasted defective coffee beans. **LWT - Food Science and Technology**, v. 39, n. 3, p. 235–239, 2006. DOI:10.1016/j.lwt.2005.01.011.
- PARK, S. Y. et al. Spent coffee grounds extract-incorporated poly (butylene adipate-co-terephthalate)/poly (lactic acid) blend films for active food packaging. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 33, 100889, 2022. DOI: 10.1016/j.fpsl.2022.100889.

- PASSOS, M. L. et al. Extração de óleo da borra de café: avaliação do processo e qualidade do produto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 1, p. 101–105, 2009. DOI: 10.1590/S0101-20612009000100016.
- PENCI, M. C.; MARÍN, M. A. Dulce de leche: Technology, quality, and consumer aspects of the traditional milk caramel of South America. In **Traditional foods**, (p. 123-136, 2016. DOI:10.1007/978-1-4899-7648-2_9.
- PÉREZ-BURILLO, S. et al. Health-promoting properties of melanoidins. **Trends in Food Science & Technology**, v. 103, p. 109–117, 2020. DOI:10.1021/acs.jafc.8b06604.
- PERRONE, D.; DONANGELO, C. M.; FARAH, A. Fast simultaneous analysis of caffeine, trigonelline, nicotinic acid and sucrose in coffee by liquid chromatography-mass spectrometry. **Food Chemistry**, v. 110, n. 4, p. 1030, 2008. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.03.012.
- PERRONE, Í. T.; STEPHANI, R.; NEVES, B. S. **Doce de leite**: aspectos tecnológicos. Juiz de Fora: Templo, 2011.
- PHIROM-ON, A.; APIRAKSAKORN, J. Enzymatic hydrolysis of spent coffee grounds for antioxidant activity. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 765, 012015, 2021. DOI: 10.1088/1755-1315/765/1/012015.
- PIMENTA, C. J. **Qualidade de café**. Lavras: UFLA, 2003.
- PINELO, M. et al. Influence of particle size on extraction of phenolics from grape pomace. **Food Chemistry**, v. 104, n. 3, p. 1050–1055, 2007. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.10.063.
- PINHEIRO, C. A. et al. Physico-chemical properties and sensory profile of Coffea canephora genotypes in high-altitudes. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 12, p. 1835–2707, 2019. DOI:10.21475/ajcs.19.13.12. p2060.
- POISSON, L. et al. The Chemistry of Roasting—Decoding Flavor Formation. In: The craft and science of coffee. **Academic Press**, p. 273-309, 2017. DOI: 10.1016/B978-0-12-803520-7.00012-8.
- PUA, A. et al. Recent advances in analytical strategies for coffee volatile studies: Opportunities and challenges. **Food Chemistry**, v. 388, 132971, 2022. DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.132971.
- PUJOL, D. et al. The chemical composition of exhausted coffee waste. **Industrial Crops and Products**, v. 50, p. 423–429, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.07.056>.
- PUTRA, A. S.; KARIM, A. M.; Theoretical study of fluidization and heat transfer on fluidized bed coffee roaster. **AIP Conference Proceedings**, v. 2097, p. 1–7, 2019. DOI:10.1063/1.5098287.
- RIBEIRO, J. S. et al. Prediction of sensory properties of Brazilian Arabica roasted coffees by headspace solid phase microextraction-gas chromatography and partial least squares. **Analytica Chimica Acta**, v. 634, n. 2, p. 172-179, 2009. DOI: 10.1016/j.aca.2008.12.030.
- SAVOIRE, R. et al. Effect of process parameters on mechanical oil expression from oleaginous seeds. **Industrial Crops and Products**, v. 46, p. 106–114, 2013. DOI: 10.1016/j.indcrop.2012.12.039.

SENINDE, D. R.; CHAMBERS, E. Coffee Flavor: A Review. **Beverages**, v. 6, n. 3, p. 44, 2020. DOI: 10.3390/beverages6030044.

SHARMA, M. et al. Utilization of spent coffee grounds in bakery products. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, p. 1684–1691, 2021. DOI: 10.1016/j.fufo.2021.100090.

SILVA, J. R. **Otimização do processo de torração do café pelo monitoramento de parâmetros e propriedades físicas e sensoriais**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

SILVA, S. P. Avaliação do teor de água, perda de massa e massa específica durante o processo de torra de café arábica. **Congresso Internacional da Agroindústria**, 2021. <https://ciagro.institutoidv.org/anais2021.php>.

STAROWICZ, M.; ZIELIŃSKI, H. How maillard reaction influences sensorial properties (color, flavor and texture) of food products? **Food Reviews International**, v. 35, n. 8, p. 707–725, 2019. DOI: 10.1080/87559129.2019.1600538.

STEPHANI, R. et al. Dulce de Leche - chemistry and processing technology. In: ZHANG, H. (ed.). **Milk Production, Processing and Marketing**. London: IntechOpen, 2019. p. 1-18. DOI: 10.5772/intechopen.82677.

TANG, V. C. Y. et al. Effect of solid-state fungal fermentation on the non-volatiles content and volatiles composition of *Coffea canephora* (Robusta) coffee beans. **Food Chemistry**, v. 337, 128023, 2021. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128023.

VIRGEN-NAVARRO, L. et al. Diffusivity coefficient estimation during coffee roasting in a spouted bed using a fuzzy model. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, v. 15, p. 513-524, 2016. DOI: 10.24275/rmiq/Alim1163.

YASHIN, A.; YASHIN, Y.; XIA, X.; NEMZER, B. Chromatographic Methods for Coffee Analysis: A Review. **Journal of Food Research**, v. 6, n. 4, p. 60, 2017. DOI: 10.5539/jfr.v6n4p60.

YERETZIAN, C. et al. Coffee Volatile and Aroma Compounds – From the Green Bean to the Cup. Zurich University of Applied Sciences, Institute of Chemistry and biotechnology. **Chapter**, v. 8820, p.726-770, 2019. DOI:10.1039/9781782622437-00726.

YU, X. et al. Cold press extraction of seed oils and oil quality. **Journal of Food Lipids**, v. 12, p. 276–288, 2005. DOI: 10.1111/j.1745-4522.2005.00028.x.

ZHANG, D.; CHENG, X.; SUN, D.; DING, S.; CAI, P.; YUAN, L.; TIAN, Y.; TU, WEIZ, W.; HU, Q.-N. AdditiveChem: A comprehensive bioinformatics knowledge-base for food additive chemicals. **Food Chemistry**, v. 308, n. 125519, ISSN 0308-8146, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125519>.

ZHANG, D.; VEGA, F. E.; INFANTE, F.; SOLANO, W.; JOHNSON, E. S.; MEINHARDT, L. W. Accurate differentiation of green beans of Arabica and Robusta coffee using nanofluidic array of single nucleotide polymorphism (SNP) markers. **Journal of AOAC International**, v. 103, n. 2, 2020. DOI: 315–324. <https://doi.org/10.1093/jaoacint/qs002>.

ANEXOS

Ficha de avaliação sensorial de doce de leite com extratos de café extraídos da borra de café

FICHA DE AVALIAÇÃO SENSORIAL DE DOCE DE LEITE COM CAFÉ																	
Nome: _____	Data: _____																
Faixa Etária:	Frequência de consumo de doce de leite:	Renda Familiar:															
<input type="checkbox"/> 18 a 30 anos	<input type="checkbox"/> 1 vez ao mês	<input type="checkbox"/> 1 a 5 salários mínimos															
<input type="checkbox"/> 31 a 45 anos	<input type="checkbox"/> 2 vezes ao mês	<input type="checkbox"/> 5 a 10 salários mínimos															
<input type="checkbox"/> 45 a 60 anos	<input type="checkbox"/> 3 vezes ao mês	<input type="checkbox"/> 10 a 15 salários mínimos															
<input type="checkbox"/> Mais de 60 anos	<input type="checkbox"/> 1 vez por semana	<input type="checkbox"/> 15 a 20 salários mínimos															
	<input type="checkbox"/> 2 ou mais vezes por semana	<input type="checkbox"/> Mais que 20 salários mínimos															
<p>Avalie a amostra de doce de leite. Anote o código da amostra no espaço indicado abaixo. Em seguida, prove o doce de leite e dê uma nota para impressão global, cor, sabor, textura utilizando a escala descrita ao lado. E responda sobre a sua intenção de compra para o produto.</p>																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">ESCALA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 2px;">9 – Gostei extremamente</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">8 – Gostei muito</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">7 – Gostei moderadamente</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">6 – Gostei ligeiramente</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">5 - Nem gostei/nem desgostei</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">4 - Desgostei ligeiramente</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">3 - Desgostei moderadamente</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">2 – Desgostei Muito</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1 – Desgostei Extremamente</td></tr> </tbody> </table>	ESCALA	9 – Gostei extremamente	8 – Gostei muito	7 – Gostei moderadamente	6 – Gostei ligeiramente	5 - Nem gostei/nem desgostei	4 - Desgostei ligeiramente	3 - Desgostei moderadamente	2 – Desgostei Muito	1 – Desgostei Extremamente	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; padding: 2px;">ESCALA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="padding: 2px;">5 – Certamente compraria</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">4 – Provavelmente compraria</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">3 – Talvez compraria/Talvez não compraria</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">2 – Provavelmente não compraria</td></tr> <tr><td style="padding: 2px;">1 – Certamente não compraria</td></tr> </tbody> </table>	ESCALA	5 – Certamente compraria	4 – Provavelmente compraria	3 – Talvez compraria/Talvez não compraria	2 – Provavelmente não compraria	1 – Certamente não compraria
ESCALA																	
9 – Gostei extremamente																	
8 – Gostei muito																	
7 – Gostei moderadamente																	
6 – Gostei ligeiramente																	
5 - Nem gostei/nem desgostei																	
4 - Desgostei ligeiramente																	
3 - Desgostei moderadamente																	
2 – Desgostei Muito																	
1 – Desgostei Extremamente																	
ESCALA																	
5 – Certamente compraria																	
4 – Provavelmente compraria																	
3 – Talvez compraria/Talvez não compraria																	
2 – Provavelmente não compraria																	
1 – Certamente não compraria																	
Amostra nº: _____																	
Impressão Global: _____ Cor: _____ Sabor: _____ Textura: _____ Intenção de compra: _____																	
Amostra nº: _____																	
Impressão Global: _____ Cor: _____ Sabor: _____ Textura: _____ Intenção de compra: _____																	
Amostra nº: _____																	
Impressão Global: _____ Cor: _____ Sabor: _____ Textura: _____ Intenção de compra: _____																	
Amostra nº: _____																	
Impressão Global: _____ Cor: _____ Sabor: _____ Textura: _____ Intenção de compra: _____																	
Amostra nº: _____																	
Impressão Global: _____ Cor: _____ Sabor: _____ Textura: _____ Intenção de compra: _____																	