

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS**

Letícia Ribeiro Barbosa

**Desenvolvimento de ingrediente alimentício contendo bioativos da película
prateada do café**

Juiz de Fora

2022

Letícia Ribeiro Barbosa

**Desenvolvimento de ingrediente alimentício contendo bioativos da película
prateada do café**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Juiz de Fora para obtenção do título de Mestre em Ciências Farmacêuticas.

Orientadora: Prof^a. Dra. Mirian Pereira Rodarte

Coorientador: Prof. Dr. Humberto Moreira Húngaro

Juiz de Fora

2022

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Barbosa, Letícia Ribeiro.

Desenvolvimento de ingrediente alimentício contendo bioativos da película prateada do café / Letícia Ribeiro Barbosa. -- 2022.
59 p.

Orientadora: Mirian Pereira Rodarte

Coorientador: Humberto Moreira Húngaro

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Farmácia e Bioquímica. Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2022.

1. Película prateada. 2. Compostos bioativos. 3. Antioxidantes. I. Rodarte, Mirian Pereira, orient. II. Húngaro, Humberto Moreira, coorient. III. Título.

Letícia Ribeiro Barbosa

Desenvolvimento de ingrediente alimentício contendo bioativos da película prateada do café

Dissertação
apresentada ao
Programa de Pós-
Graduação em Ciências
Farmacêuticas
da Universidade
Federal de Juiz de Fora
como requisito parcial
à obtenção do título de
Mestre em Ciências
Farmacêuticas. Área de
concentração: Produtos
Naturais e Sintéticos
Ativos.

Aprovada em 29 de novembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Mírian Pereira Rodarte - Orientadora
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Humberto Moreira Húngaro - Coorientador
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone
Universidade Federal de Juiz de Fora

Prof. Dr. Marcelo Henrique Otênio
Embrapa

Juiz de Fora, 08/11/2022.



Documento assinado eletronicamente por **Mirian Pereira Rodarte, Professor(a)**, em 01/12/2022, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Marcelo Henrique Otenio, Usuário Externo**, em 02/12/2022, às 10:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Humberto Moreira Hungaro, Professor(a)**, em 06/12/2022, às 14:07, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Italo Tuler Perroni, Professor(a)**, em 04/01/2023, às 22:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no Portal do SEI-Ufjf (www2.ufjf.br/SEI) através do ícone Conferência de Documentos, informando o código verificador **1032322** e o código CRC **9AB8212C**.

AGRADECIMENTOS

A realização, não só deste trabalho, mas de tudo o que ele representa para mim, só foi possível graças à contribuição de várias pessoas, às quais eu gostaria de expressar meus mais sinceros agradecimentos.

Gostaria de agradecer primeiramente à Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas (PPGCF), pela infraestrutura e viabilização desse trabalho e também pelo aprendizado e oportunidade de crescimento e amadurecimento.

À minha orientadora, Profa. Dra. Mirian Pereira Rodarte, uma grande professora e incentivadora. Obrigada pela disposição inestimável, pela confiança que depositou em mim e pelas oportunidades oferecidas que tanto contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Prof. Dr. Humberto Moreira Húngaro, meu coorientador, pelos conhecimentos transmitidos, por todo apoio e ajuda em cada etapa e por ser um exemplo de profissional que inspira.

Ao Prof. Dr. Ítalo Tuler Perrone e à Júlia Francisquini, que além da disponibilidade e ensinamentos, ajudaram efetivamente para que este trabalho fosse realizado.

A todos os demais professores, funcionários e colegas do Departamento de Ciências Farmacêuticas, especialmente à Ana Flávia por todo apoio e conhecimento compartilhados comigo.

Ao Laboratório de Análises de Alimentos e Águas (LAAA), Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos (LCTA), Laboratório de Produtos Naturais e Bioativos (LPNB), ao Núcleo de Espectroscopia e Estrutura Molecular (NEEM) e ao Laboratório de Química e Tecnologia (QUIMTEC) pela disponibilidade para utilização de diversos equipamentos e análises realizadas, bem como aos seus respectivos colaboradores. Agradeço por todos os ensinamentos e experiências compartilhadas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pela bolsa de estudos concedida durante o período de mestrado.

A Deus, por ter me guiado em mais uma etapa da minha vida. Por iluminar meu caminho e minhas escolhas.

Aos meus pais, Kátia e Rogério, por serem meu alicerce, meu bem mais precioso. Por acreditarem em mim, não medindo esforços para me ajudar no que fosse

preciso. Por todas as palavras de apoio e motivação e por serem os maiores exemplos da minha vida. Por fazerem de mim exatamente quem eu sou.

Ao meu irmão, Marcus Vinícius, por todo companheirismo, e a toda minha família. Por todas as palavras de apoio e motivação.

Ao meu namorado Rafael, por estar sempre ao meu lado, pelo amor, pela compreensão e por todo apoio em todos os momentos da minha vida. Você me faz uma pessoa feliz e melhor todos os dias.

A todos os amigos que acompanharam essa trajetória, pelo apoio incondicional. Gratidão a todos que estiveram comigo neste trabalho!

RESUMO

O volume de resíduos gerado pela produção de café impulsiona as pesquisas de inovação e de tecnologias alternativas para minimizar os impactos ambientais e agregar valor aos produtos. A película prateada do café, considerada um resíduo do processamento, é um fino tegumento que se destaca do grão de café no processo de torração. A utilização da película prateada do café em produtos alimentícios é uma alternativa interessante para o reaproveitamento desse resíduo devido às substâncias bioativas presentes. Contudo, é necessário otimizar os métodos de produção de ingredientes para preservação das suas atividades biológicas e incorporação eficiente aos produtos alimentícios. Diante disso, este trabalho foi realizado visando o desenvolvimento de um ingrediente alimentício contendo bioativos da película prateada do café e matrizes proteicas, utilizando secagem por atomização (*spray-drying*). O extrato aquoso da película prateada foi submetido à secagem por atomização empregando leite em pó desnatado e proteína de soro concentrada (WPC). A caracterização das amostras foi realizada por meio da determinação de teor de água, atividade de água, distribuição do tamanho das partículas, análise de cor, conteúdo total de compostos fenólicos, atividade antioxidante, pelos métodos de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH) e inibição do radical óxido nítrico (NO•), e análise morfológica. Os ingredientes produzidos apresentaram atividade de água dentro de uma faixa que garante maior estabilidade e redução da degradação para produtos em pó. O extrato da película prateada do café com WPC teve uma melhor capacidade de reidratação. O parâmetro L* foi maior para os ingredientes produzidos quando comparado ao extrato da película prateada puro, e o índice de escurecimento (BI) foi menor. O teor de compostos fenólicos (de 29,23 ± 8,39mg AGE/g e de 34,00 ± 8,38mg AGE/g para o extrato da película prateada do café utilizando leite em pó desnatado e WPC, respectivamente) e a atividade antioxidante dos ingredientes confirmaram o potencial como fonte natural de compostos fenólicos antioxidantes. Por meio desse trabalho foi possível concluir que o processo de secagem por *spray-drying* permitiu melhorar as características tecnológicas do produto, além de preservar as substâncias bioativas e associar a proteínas lácteas, desenvolvendo um ingrediente alimentício com características favoráveis à incorporação em produtos alimentícios.

Palavras-chaves: Película prateada. Compostos bioativos. Antioxidante.

ABSTRACT

The waste generated by coffee production drives research into innovation and alternative technologies to minimize environmental impacts, adding value to products. Coffee silverskin, considered a processing waste, is a thin tegument that stands out from the coffee bean in the roasting process. Coffee silverskin is used in food products as an interesting alternative for the reuse of this residue due to the bioactive substances present. However, it is necessary to optimize the production methods of ingredients to preserve its biological activities and efficient incorporation into food products. Therefore, the aim of this study is to develop a food ingredient containing bioactives of coffee silverskin and protein matrices, using spray-drying methods. Aqueous extract of coffee silverskin was subjected to spray-drying using skimmed milk powder and whey protein concentrate (WPC) at 10% (w/v). The characterization of the samples was carried out through the determination of water content, water activity, particle size distribution, color analysis, total phenolic compounds content, antioxidant activity, by 2,2-diphenyl-radical 1-picrylhydrazyl (DPPH) scavenging methods and nitric oxide (NO•) radical inhibition and morphological analysis. The ingredients produced showed water activity within a range that ensures greater stability and reduced degradation for powdered products. Coffee silverskin extract with WPC had better rehydration ability. The L* parameter was higher for the encapsulated samples when compared to the pure coffee silverskin extract, and the browning index (BI) was lower. The phenolic compounds content (29.23 ± 8.39 mg AGE/g and 34.00 ± 8.38 mg AGE/g for the coffee silverskin extract using skimmed milk powder and WPC, respectively) and the antioxidant activity of the ingredients confirmed their potential as a natural source of antioxidant phenolic compounds. In this work, it was possible to conclude that the spray-drying process allowed to improve the technological characteristics of the product, in addition to preserving the bioactive substances and associate with protein milk, developing a food ingredient with favorable characteristics for incorporation in to food products.

Keywords: Coffee silverskin. Bioactive compounds. Antioxidant.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** – Estruturas dos alcaloides presentes no extrato da película prateada do café16
- Figura 2** – Estruturas dos ácidos cafeoilquínicos (3-ACQ, 5-ACQ e 3,5-diACQ) presentes no extrato da película prateada do café17
- Figura 3** – Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura das amostras analisadas39

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Teor de água, atividade de água e tamanho de partículas do ingrediente bioativo da película prateada do café31
- Tabela 2** – Valores médios dos parâmetros de cor e do índice de escurecimento das amostras34
- Tabela 3** – Compostos fenólicos e atividade antioxidante das amostras36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3,5-diACQ	3,5-O-ácido dicafeoilquínico
3-ACQ	3-O-ácido cafeoilquínico
5-ACQ	5-O-ácido cafeoilquínico
a*	Coordenada CIELab relacionado a tonalidade de vermelho a verde
ABIC	Associação Brasileira da Indústria de Café
ALA	Ácido alfa-linolênico
ANOVA	Análise de Variância
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
b*	Coordenada CIELab relacionado a tonalidades de amarelo a azul
C*	Coordenada CIELab relacionado a intensidade da cor
CIELAB	Comissão Internacional de Iluminação em termos de coordenadas colorimétricas L*, a* e b*
CO2	Dióxido de carbono
DHA	Ácido docosahexaenoico
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
GAE	Ácido gálico
h*	Ângulo Hue
HPLC	<i>High Performance Liquid Chromatography</i>
IAL	Instituto Adolfo Lutz
L*	Luminosidade
LC-PUFAs	Ácidos graxos poliinsaturados de cadeia longa ω 3
NaOH	Hidróxido de sódio
NCL	Carreadores lipídicos nanoestruturados
pH	Potencial hidrogeniônico
UHT	<i>Ultra high temperature</i>
UV	Ultravioleta

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1 PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ	13
3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ	15
3.3 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ	18
3.4 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (<i>Spray-drying</i>).....	20
3.5 UTILIZAÇÃO DE FONTES VEGETAIS COM SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS COMO INGREDIENTES ALIMENTÍCIOS	23
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1 AMOSTRAS DE PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ	26
4.2 OBTENÇÃO DO EXTRATO DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ	26
4.3 PREPARO DAS MICROCAPSULAS POR <i>SPRAY-DRYING</i>	26
4.4 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ MICROENCAPSULADO	27
4.4.1 Determinação do teor de água e atividade de água.....	27
4.4.2 Determinação da distribuição do tamanho das partículas.....	27
4.4.3 Análise de cor.....	27
4.4.4 Determinação de compostos fenólicos totais.....	28
4.4.5 Atividade antioxidante	28
4.4.6 Análise morfológica	29
4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	30
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO INGREDIENTE BIOATIVO DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ.....	31
5.1.1 Determinação de teor de água, atividade de água e distribuição do tamanho das partículas	31
5.1.2 Análise de cor.....	33
5.1.3 Determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante	36
5.1.4 Análise morfológica	39
6. CONCLUSÃO	42

REFERÊNCIAS	43
-------------------	----

1. INTRODUÇÃO

A produção de café para comercialização como grão cru gera cerca de 45 a 50% de resíduos que são descartados e podem causar vários problemas ambientais (GEMECHU, 2020). O volume de resíduos impulsiona as pesquisas de inovação e tecnologias alternativas para minimizar os impactos ambientais, reduzir as perdas do processo e agregar valor aos produtos (COSTA et al., 2014).

Esses resíduos podem ser uma importante fonte de compostos bioativos que podem ser usados em alimentos, cosméticos e produtos farmacêuticos (COSTA et al., 2018). Dentre as substâncias bioativas presentes, o ácido clorogênico se destaca pelas várias atividades biológicas de interesse industrial, como por exemplo atividade antioxidante, anti-inflamatória, quimiopreventiva, inibição da α -amilase, inibição da lipase, melhora na tolerância à glicose e efeitos anti-obesidade (OLIVEIRA et al.; REGAZONNI et al.; SARRIÁ et al., 2016; TOMAC; IERUGA; LABUDA, 2020).

O desenvolvimento de novos produtos na indústria de alimentos é importante para a inovação no setor e também para atender às necessidades dos consumidores. Há uma demanda emergente de alimentos com atribuições funcionais, devido à ação como promotores de saúde (GORMLEY, 2019). Em decorrência disso, as matérias-primas de origem natural e os subprodutos do processamento de alimentos com potenciais aplicações têm se destacado nesse setor.

No processamento do café, a etapa de torração é responsável pelo desenvolvimento da cor e das características sensoriais do café torrado utilizado no preparo da bebida. Durante a torração, o grão de café apresenta uma perda média de peso de cerca de 16%. Essa porcentagem abrange, além da perda de água, o principal subproduto dessa etapa, a película prateada do café (GEMECHU, 2020). A película prateada do café é um fino tegumento que se destaca do grão de café no processo de torração, tornando-se um resíduo (BORRELLI et al., 2004; MUSSATTO et al., 2011). Sua composição química, como celulose, hemicelulose, proteínas, lipídeos e polifenóis a tornam um poluente porque demanda elevada quantidade de oxigênio na degradação (ATES; ELMACI, 2018).

A utilização da película prateada do café em produtos alimentícios como fonte de fibra alimentar e de compostos bioativos é uma alternativa interessante para o reaproveitamento desse resíduo, por agregar valor ao produto no qual for adicionada e proporcionar benefícios à saúde humana (NZEKOUÉ et al., 2020). Seu alto teor de

fibras pode ser usado para aprimorar os valores nutricionais, para consumidores que buscam alimentos com essa funcionalidade (ATES; ELMACI, 2018).

Apesar de representar um grande potencial de aplicação em diversos setores da indústria alimentícia, as características que tornam os antioxidantes do café tão atraentes para uso em nutracêuticos também podem ser responsáveis por suas limitações. Os antioxidantes naturais tendem a apresentar sensibilidade tanto à luz quanto ao calor (AGUIAR et al., 2016). Além disso, também é necessário preservar a estabilidade de compostos bioativos durante processamento e armazenamento, prevenindo interações com outras substâncias; retardar processos de degradação; melhorar a retenção no alimento; mascarar possíveis sabores desagradáveis; melhorar a solubilidade e permitir uma liberação controlada e prolongada (RAY; RAYCHAUDHURI; CHAKRABORTY, 2016; BALLESTEROS et al., 2017).

O processo de secagem por atomização (*spray-drying*) é caracterizado por transformar soluções ou emulsões em produtos na forma de pó, envolvendo o material em uma cápsula. A formação dessa camada protetora, permite o isolamento dos compostos, possibilitando a estabilidade e promovendo a manutenção dos princípios ativos durante o armazenamento, evitando alterações indesejáveis (SUN et al., 2019). Além disso, essa técnica pode mascarar sabores e odores desagradáveis que alguns componentes bioativos apresentam, incluindo o sabor amargo e a adstringência dos polifenóis (BALLESTEROS et al., 2017).

Há poucos trabalhos com a película prateada do café utilizando a secagem por atomização, o que requer o desenvolvimento de novos trabalhos, visando otimizar a sua aplicabilidade. Vários pontos ainda precisam ser elucidados, considerando a tecnologia de produção para o desenvolvimento de um produto que associe as propriedades bioativas do café com as proteínas do leite.

Diante do exposto, o processo de secagem por atomização utilizando matrizes proteicas é uma alternativa que pode contribuir para potencializar as atividades bioativas da película prateada do café e melhorar as características tecnológicas do ingrediente obtido. Somado à importância de se minimizar os impactos ambientais gerados pelos resíduos do processamento do café, o objetivo deste trabalho foi desenvolver um ingrediente, com possibilidade de ser utilizado em diferentes produtos alimentícios, contendo bioativos extraídos da película prateada do café associados a matrizes proteicas.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver um ingrediente alimentício contendo bioativos extraídos da película prateada do café associado a matrizes proteicas, utilizando secagem por atomização (*spray-drying*), bem como avaliar os efeitos das condições de secagem sobre as propriedades físico-químicas e biológicas do produto obtido.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar extrato da película prateada do café;
- Produzir um ingrediente alimentício por meio da secagem por atomização e emprego de matrizes proteicas;
- Caracterizar os produtos obtidos quanto ao teor de água, atividade de água e distribuição do tamanho de partícula;
- Determinar os parâmetros colorimétricos (L^* , a^* e b^*) e o índice de escurecimento (BI);
- Determinar os compostos fenólicos totais e a atividade antioxidante por meio dos métodos de sequestro do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) e avaliação da atividade de sequestro de óxido nítrico (NO);
- Avaliar a morfologia das micropartículas do ingrediente por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ

O café é um dos produtos primários mais valorizados no comércio mundial, devido ao alto consumo da bebida (MUSSATO et al., 2011). Segundo ABIC (Associação Brasileira da Indústria de Café), o consumo interno do grão no país registrou crescimento em 2021, sendo 21,5 milhões de sacas entre novembro de 2010 e outubro de 2021, o que representa uma alta de 1,71% em relação ao período anterior, que considerou dados de novembro de 2019 a outubro de 2020. Esse volume representa 45,3% da safra de 2021, que foi de 47,7 milhões de sacas, segundo a Conab. Os números coletados pela ABIC revelam que o Brasil manteve a posição de segundo maior consumidor de café do mundo e destacam o país como o maior mercado mundial em volume total de café como bebida quente (ABIC, 2020).

O grão de café é o principal produto comercializado, representando de 50 a 55% da matéria seca do fruto. O restante representa a quantidade de subprodutos gerada durante o processamento (FRANCA; OLIVEIRA, 2016). Esses constituem uma fonte de contaminação e um grave problema ambiental, especialmente devido aos compostos fitotóxicos, já que esses compostos podem limitar seu uso direto em aplicações no solo ou rações. No entanto, eles podem ser uma boa fonte de compostos bioativos que podem ser extraídos e usados posteriormente em alimentos, cosméticos ou produtos farmacêuticos (COSTA et al., 2018).

O grão de café é envolvido por camadas de pericarpo, sendo este formado pelas camadas externas do exocarpo (casca do café), mesocarpo (polpa do café) e endocarpo (pergaminho) (ESQUIVEL; JIMÉNEZ, 2012).

O processamento do café inicia-se, com a retirada desses componentes externos, seja por via seca ou úmida, para a obtenção do grão de café verde (GEMECHU, 2020). No processamento seco, após a colheita, ocorre a secagem dos frutos até se obter de 10 a 11% de umidade, e o material que cobre os grãos é removido em uma máquina descascadora. Os materiais que cobrem o grão são a casca, polpa e pergaminho, que constituem os resíduos do processamento nesta etapa. No processamento úmido, a casca externa é removida mecanicamente e os grãos podem ser submetidos a um processo mecânico ou fermentativo para retirada da polpa antes da etapa da secagem (FRANCA; OLIVEIRA, 2016).

O grão de café verde, obtido no processamento primário, segue então para o processo de torração (GEMECHU, 2020). Durante a torração, os grãos são aquecidos pelo ar quente em condições controladas de tempo e de temperatura. Na primeira etapa, por meio da liberação de água e substâncias voláteis, os grãos são secados, com mudança da cor verde para amarelo. Em seguida, ocorrem complexas reações de pirólise, com remoção de CO₂, água e substâncias voláteis, nas quais os grãos se tornam marrons, devido principalmente às reações de *Maillard* e de caramelização, e formam-se as substâncias responsáveis pelo sabor e aroma. Por último, os grãos são resfriados (COSTA et al., 2014).

A película prateada do café e o café moído já utilizado para a obtenção da bebida constituem os subprodutos do processamento secundário do café. A película prateada do café, um tegumento da camada externa do grão, representa cerca de 4,2% (v/v) dos grãos de café (BEHROUZIAN et al., 2016). Essa película se destaca do grão de café no processo de torração, tornando-se um resíduo, sendo fonte de nutrientes, principalmente proteína e fibra alimentar, além de compostos bioativos com importantes atividades biológicas (MURTHY; NAIDU, 2012; IRIONDO-DEHOND et al., 2019; NZEKOUÉ et al., 2020).

A torração de café propicia mudanças químicas, particularmente na degradação do ácido clorogênico. No entanto, ocorre também a formação de novos compostos como as melanoidinas, produtos da reação de *Maillard*, que também contribuem para a atividade antioxidante do café (FRANCA; OLIVEIRA, 2016).

A película prateada do café tem uma atividade antioxidante comparável a vários vegetais frescos, que são fontes antioxidantes bem conhecidas (BORRELLI et al., 2004). As melanoidinas da película prateada do café conferem sabor, aroma e cor, e apresentam propriedades benéficas além de antioxidante, como antimicrobiana, anticariogênica, anti-inflamatória, anti-hipertensiva e antiglicante (MOREIRA et al., 2012).

Estudos recentes comprovaram que a película prateada do café contém fibras comparáveis à farinha de trigo integral, além de menor teor de açúcar e conteúdo mineral superior. Os níveis de proteínas do extrato de película prateada do café estão próximos aos de ovos e acima do teor de proteína do leite (IRIONDO-DEHOND et al., 2019).

Contudo, a presença de materiais orgânicos faz com que esse resíduo seja altamente poluente devido a uma grande demanda de oxigênio para ser degradado

(JIMÉNEZ-ZAMORA et al., 2015). A utilização da película como fonte de fibra alimentar e de compostos antioxidantes é uma alternativa interessante para o reaproveitamento desse resíduo, podendo agregar valor ao produto no qual for adicionada, proporcionando benefícios à saúde humana (MURTHY; NAIDU, 2012).

3.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ

A composição química do grão de café é amplamente estudada, sendo a cafeína o constituinte mais investigado devido ao seu papel estimulante, com efeito fisiológico documentado. Contudo, o consumo de café está associado aos efeitos de promoção da saúde de outros compostos, sendo essa função principalmente atribuída a polifenóis antioxidantes, especialmente ao ácido clorogênico (CLIFFORD et al., 2017).

O conteúdo químico do grão de café contém um grande número de produtos solúveis e insolúveis em água. Dentre os compostos solúveis em água se destacam: cafeína, trigonelina, ácido nicotínico (niacina), ácido clorogênico e outros fenólicos, monossacarídeos, dissacarídeos, oligossacarídeos, proteínas, minerais e ácidos carboxílicos. E os componentes insolúveis em água incluem celulose, polissacarídeos, lignina e hemicelulose, bem como algumas proteínas, minerais, vitaminas e lipídios (PÉREZ-SARIÑANA; SALDAÑA-TRINIDAD, 2017). Uma vez que muitas dessas composições químicas estudadas no grão de café também estão presentes em níveis de concentração significativo nos subprodutos, o estudo dos seus constituintes funcionais também é atraente para novas pesquisas (JANISSEN; HUYNH, 2018).

No que diz respeito à composição química da película prateada do café, existem características que favorecem sua aplicação em alimentos como ingrediente natural e sustentável (COSTA et al., 2018). Há uma grande quantidade de proteínas, as gorduras são muito baixas e os carboidratos redutores estão quase ausentes. O teor das cinzas é alto, sugerindo um importante conteúdo mineral, contudo, os polissacarídeos são os componentes principais (BORRELLI et al., 2004).

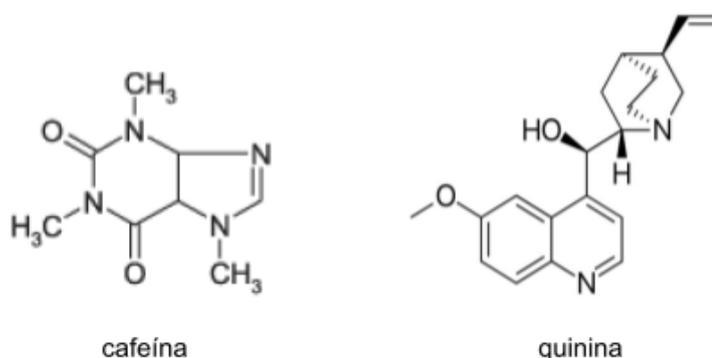
A película prateada do café apresenta ainda, um elevado conteúdo de fibra alimentar (50-60%), divididos em 15% solúveis e 85% insolúveis (BORRELLI et al., 2004), mesmo em comparação com fontes de fibras comumente empregadas como farelos de trigo e aveia (29-42%) (NARITA; INOUE, 2014).

Em estudos de caracterização anteriores, indicam que o ácido clorogênico e o cafeico são os principais fenóis presentes na película prateada do café. A concentração de compostos fenólicos livres é muito menor do que a detectável em grãos torrados. Isso provavelmente é devido à temperatura mais alta nas camadas externas dos grãos durante a torração, o que causa a rápida degradação dos compostos fenólicos (BORRELLI et al., 2004; NZEKOUE et al., 2020).

A cafeína foi o composto bioativo mais abundante em todos os extratos analisados por Nzekoue e colaboradores (2020), com teores variando de 1,00% a 3,59% da massa seca do extrato. Esses níveis são bastante elevados, considerando que os níveis de cafeína podem variar entre 1,01% e 8,16% de grãos de café secos e extratos de café secos (JESZKA-SKOWRON et al., 2016).

Considerando que o principal componente da maioria das bebidas energéticas é a cafeína (ALSUNNI, 2015), os extratos de película prateada do café podem representar um ingrediente ideal para a preparação de bebidas energéticas e barras energéticas (BONDESSON, 2015) devido ao alto teor de cafeína e ao baixo custo de compra. Ainda dentre os alcaloides, a quinina foi encontrada em todos os extratos analisados. O quinina é um alcaloide isolado pela primeira vez da casca da árvore cinchona e conhecida como um potente agente antimalárico (JONES; PANDA; HALL, 2015). As estruturas da cafeína e da quinina estão demonstradas na figura 1.

Figura 1 - Estruturas dos alcaloides presentes no extrato da película prateada do



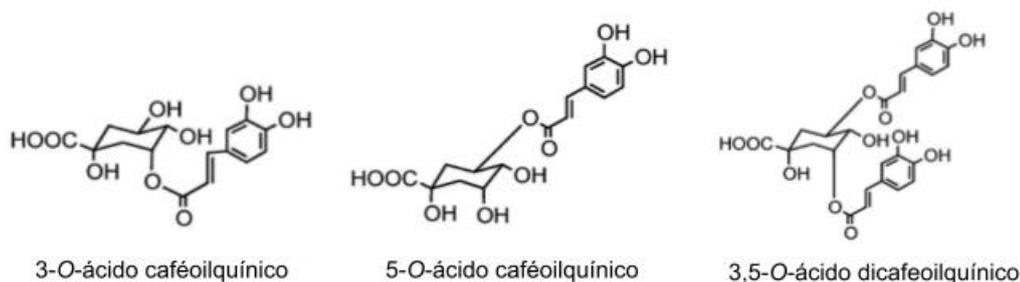
café

Fonte: CLIFFORD et al., 2017

Os compostos fenólicos contêm duas estruturas de carbono, hidroxicinâmica e hidroxibenzoica. Especificamente, os subprodutos do processamento secundário do café, entre eles, a película prateada do café, apresentam graus variados de ácido clorogênico (BRESCIANI et al., 2014). Os ácidos cafeoilquínicos (3-ACQ, 5-ACQ e 3,5-diACQ), figura 2, foram os polifenóis mais abundantes nos diferentes extratos de película prateada do café, com suas concentrações correspondendo a 78,5–96,8% do nível total de polifenóis detectados (NZEKOUÉ et al., 2020).

Ao contrário de estudos anteriores, que afirmavam que não há ácido fenólico não conjugado no extrato de película prateada do café (BRESCIANI et al., 2014), o estudo de Nzekoue e colaboradores (2020) identificou e quantificou ainda 7 ácidos fenólicos não conjugados no extrato da película, sendo eles: ácido gálico, ácido vanílico, ácido cafeico, ácido síngico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico e ácido trans-cinâmico. Dentre eles, o ácido vanílico ($345,13 \pm 50,11 \mu\text{g g}^{-1}$), ácido ferúlico ($226,23 \pm 6,20 \mu\text{g g}^{-1}$) e ácido cafeico ($212,38 \pm 27,86 \mu\text{g g}^{-1}$) estavam presentes com níveis mais elevados.

Figura 2 - Estruturas dos ácidos cafeoilquínicos (3-ACQ, 5-ACQ e 3,5-diACQ) presentes no extrato da película prateada do café



Fonte: CLIFFORD et al., 2017

Entre os diferentes flavonoides, foram detectados 7 polifenóis pertencentes a várias subclasses de flavonóides, sendo eles: rutina ($1,63\text{--}8,70 \mu\text{g g}^{-1}$), quercetina ($1,53\text{--}2,46 \mu\text{g g}^{-1}$), kaempferol ($0,76\text{--}1,66 \mu\text{g g}^{-1}$), quercitrina ($0,15\text{--}0,51 \mu\text{g g}^{-1}$) e Hiperosídeo ($0,28\text{--}0,39 \mu\text{g g}^{-1}$), pertencentes à subclasse de flavonóis, epicatequina ($151,07 \pm 0,26 \mu\text{g g}^{-1}$), da subclasse de flavan-3-ols, naringina ($0,32 \pm 0,01 \mu\text{g g}^{-1}$), que pertence à subclasse das flavanonas ($0,32 \pm 0,01 \mu\text{g g}^{-1}$) (NZEKOUÉ et al.,

2020). Além disso, pequenas quantidades de isogentisina ($0,03-0,50 \mu\text{g g}^{-1}$) também foram encontradas em extratos da película (NZEKOUÉ et al., 2020). Este composto, que é um polifenol da classe das xantonas, é um importante composto bioativo presente em *Gentiana lutea* L. A isogentisina atua na prevenção de doenças endoteliais induzidas pelo fumo (SCHMIEDER et al., 2007) e para inibir a monoamina oxidase (MUSTAFA et al., 2015).

3.3 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ

O uso mais comum da película prateada do café tem sido como combustível direto, para compostagem e fertilização do solo (COSTA et al., 2018), mas, recentemente, várias abordagens inovadoras têm sido sugeridas, devido à sua propriedade nutricional e funcional (MURTHY; NAIDU, 2012). Surgiram várias publicações propondo sua utilização em produtos de panificação (POURFARZAD et al., 2013; ATES; ELMACI, 2018), em bebidas (MARTINEZ-SAEZ et al., RIBEIRO et al., 2014), como adsorvente para recuperação de óleos de fritura usados (ISMAIL et al., 2017), e em produtos cosméticos (CASTILLO et al., 2013, RODRIGUES et al., 2015, IRIONDO-DEHOND et al., RODRIGUES et al., 2016)

O potencial anti-envelhecimento dos subprodutos do café foi proposto utilizando um extrato da película prateada do café em cosméticos, com objetivo de prevenir o envelhecimento fisiológico. Além de atribuir resultados a antioxidantes, como cafeína e ácido clorogênico, os pesquisadores apontam outros papéis importantes como: conservante, antioxidante, anti-envelhecimento e anticelulite (CASTILLO et al., 2013).

Dados pré-clínicos sobre as propriedades anti-envelhecimento de extratos de película prateada do café também mostraram que extratos de 1 mg / mL promovem uma proteção antioxidante para células da pele quando o dano oxidativo é induzido por hidróperóxido de terc-butila (IRIONDO-DEHOND et al., 2016). Além disso, uma formulação foi desenvolvida para o tratamento da celulite a partir da cafeína extraída da película prateada do café e incorporada em carreadores lipídicos nanoestruturados (NCL) formulados por dupla emulsão. A cafeína associada às nanopartículas tem a capacidade de atravessar a barreira da pele, logo, esta formulação apresentou uma boa entrega tópica (RODRIGUES et al., 2016).

No que diz respeito a sua atividade anti-inflamatória, estudos demonstraram que extratos aquosos de película prateada do café são capazes de inibir a hialuronidase, que promove a degradação do ácido hialurônico de alto peso molecular, sendo assim eficaz na supressão da inflamação (FURUSAWA et al., 2011).

Já sobre a atividade antimicrobiana, diferentes extratos da película prateada do café foram investigados contra bactérias (gram positivas e negativas) e uma levedura. Os extratos não apresentaram atividade contra *Candida albicans* ou *Pseudomonas aeruginosa*, entretanto, apresentam resultados positivos (variando de 31,3 a 250 µg / mL) contra todos os outros microrganismos testados (*Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae*) dependendo do sistema solvente utilizado (RODRIGUES et al., 2015).

Ao quantificar o teor de vitamina E da película prateada do café pela primeira vez, se obteve um perfil muito completo, composto por sete vitaminas diferentes, em que apenas o α -tocotrienol não estava presente. Ainda de acordo com os resultados desse mesmo estudo, os extratos de película prateada serão capazes de inibir a hemólise induzida (COSTA et al., 2018).

Na indústria de alimentos, atendendo à crescente demanda dos consumidores por produtos de panificação menos calóricos e maiores teores de fibra alimentar, Pourfarzad et al. (2013) utilizaram a película prateada do café a fim de fornecer melhor qualidade, vida útil e propriedades sensoriais (POURFARZAD et al., 2013).

Visando à obtenção de produtos mais saudáveis enriquecidos de proteína e de fibra alimentar, um estudo aprimorou a formulação de uma pré-mistura comercial para panificação sem glúten, por meio da adição de extratos de subprodutos do café (película prateada e casca). As propriedades de promoção da saúde observadas sugerem que os extratos de subprodutos do café podem ser usados como ingredientes ou suplementos alimentares funcionais para reduzir o risco de doenças crônicas associadas ao estresse oxidativo e para controlar os níveis de glicose pós-prandial (GUGLIELMETTI et al., 2019).

A película prateada do café foi avaliada como substituto da gordura em bolos, avaliando os atributos físicos, químicos e sensoriais. Como resultados, o estudo constatou que a película tratada com água pode ser usada como substituto de gordura em até 30% em formulações de bolo para melhorar o seu teor de fibra, sem alterações significativas nas características (ATES; ELMACI, 2018). Em uma pesquisa

realizada com suplementação da película para aumentar o conteúdo fenólico e a capacidade antioxidante de biscoitos, os resultados demonstraram um bom potencial para o desenvolvimento de biscoitos funcionais e aceitáveis e também produtos de panificação semelhantes (GOCMEN et al., 2019).

Outros estudos também analisaram a adição da película prateada do café em bebidas. Ao realizar a caracterização química e a avaliação das propriedades antioxidantes de uma nova bebida com cacau, película prateada do café e grãos de café verde minimamente processados, se concluiu que a mistura de café desenvolvida apresentou um conteúdo enriquecido de compostos bioativos (ácido clorogênico, trigonelina, teobromina e cafeína), com importante capacidade antioxidante e sendo favoravelmente apreciada por suas características sensoriais (RIBEIRO et al., 2014).

Com a proposta de obter uma bebida para redução corporal, outro grupo de pesquisadores também propuseram uma formulação de uma nova bebida à base de película prateada do café. Como resultados, obtiveram uma bebida antioxidante contendo concentrações fisiológicas ativas de cafeína e ácido clorogênico, para prevenção do acúmulo de gordura corporal e possuindo propriedades sensoriais aceitáveis (MARTINEZ-SAEZ et al., 2014).

3.4 SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO (*Spray-drying*)

Spray-drying é um processo de transformação de um fluido em um produto seco, por meio de uma única operação (BEGUM; DEKA, 2017). Esse método consiste em transformar uma solução, suspensão ou emulsão de um estado líquido para o estado sólido. Durante a secagem, uma camada de revestimento protetora será formada por intermédio do agente encapsulante que irá envolver o material ativo. A água contida na solução/emulsão é evaporada, o que confere uma baixa umidade dos pós, reduzindo a atividade de água, proporcionando estabilidade física e química dos produtos que, conseqüentemente, proporciona estabilidade microbiológica (VEIGA, 2019).

Essa técnica é amplamente utilizada na obtenção de pós e encapsulação de diversas substâncias, tais como antibióticos, acidulantes, aromatizantes, corantes, óleos, vitaminas, proteínas, minerais, polifenóis, extratos de frutas e vegetais, entre outros produtos (KESHANI et al., 2015; PASRIJA et al., 2015; PEREIRA et al., 2018). Ela apresenta vantagens como: simplicidade do processo; eficiência; custo

relativamente baixo, quando comparado aos outros métodos; alta estabilidade do produto seco final, que devido ao baixo teor de água garante a estabilidade microbiológica e evita degradações químicas; redução de volume, que facilita o manuseio, transporte e armazenamento do produto final; além do produto apresentar boa solubilidade (GHARSALLAOUI et al., 2007; KESHANI et al., 2015; PASRIJA et al., 2015). Geralmente, os pós secos por pulverização têm boas propriedades funcionais tecnológicas, como boa capacidade de reidratação, alta fluidez e longa vida útil (NIKOLOVA et al., 2015).

As características que tornam os antioxidantes do café tão atraentes para uso em nutracêuticos também podem ser responsáveis por suas limitações quando aplicados à indústria alimentícia. Os antioxidantes naturais tendem a apresentarem sensibilidade substancial tanto à luz quanto ao calor. Além disso, outras limitações típicas da aplicação direta dessas substâncias nos alimentos incluem sabor desagradável, pouca disponibilidade e alta suscetibilidade a condições ambientais, de processamento e gastrointestinais (CHAO et al., 2011; NEDOVIC et al., 2011; LOZANO-VAZQUEZ et al., 2015; AGUIAR et al., 2016).

Dentre os métodos de estabilização existentes, a microencapsulação é uma técnica comumente utilizada para estabilizar e proteger compostos bioativos em partículas microscópicas. Por meio dessa técnica, cria-se um micro-ambiente, incorporando ingredientes instáveis dentro de uma matriz carreadora e assim desenvolvendo uma proteção ao ambiente externo (FANG; BHANDARI, 2010; AGUIAR et al., 2016). É uma abordagem promissora, pois protege os antioxidantes do calor, luz e oxigênio, permitindo estabilidade, biodisponibilidade, mascaramento de sabor e liberação controlada, mantendo suas propriedades funcionais e aumentando a facilidade de manuseio, reduzindo custos com armazenamento e transporte (FANG; BHANDARI, 2010). O encapsulamento fornece proteção contra reações de degradação e evita a perda de sabor, nutrientes e/ou compostos bioativos. Além disso, ele também pode ser usado para limitar a liberação de componentes durante o processamento e armazenamento de alimentos, enquanto controla a taxa de liberação em condições fisiológicas (gástricas, intestinais) (NEVES et al., 2019).

Existem diversas técnicas de encapsulação, sendo caracterizadas em processos químicos e mecânicos. São classificados como processos químicos, os processos de encapsulação por coacervação, polimerização interfacial em interfaces líquido-líquido, polimerização *in situ*, evaporação de solvente, extrusão com bocal

submergido. Por sua vez, são classificados como processos mecânicos de encapsulação a atomização, a liofilização, o leite fluidizado, a polimerização interfacial em interfaces sólido-gás ou líquido-gás, a extrusão com centrifugação, a extrusão ou gotejamento em banho de dessolvatação, a separação por suspensão rotacional (*spinning disk*), entre outros (RAY, 2016).

O encapsulamento por atomização envolve uma série de etapas, como: 1) a mistura ou emulsão que constitui a solução de alimentação sendo bombeada para a câmara de secagem; 2) o fluído é disperso como gotículas, produzindo uma grande área superficial; 3) as gotículas dispersas entram em contato com uma corrente de ar aquecido havendo transferência de calor; 4) evaporação da água presente na solução com formação da partícula sólida; 5) as partículas de pó formadas são arrastadas pelo ar de secagem para o ciclone, podendo ser recolhidas para o armazenamento (DROSOU et al., 2017).

No entanto, a principal restrição está relacionada aos materiais encapsulantes, os quais devem apresentar boa solubilidade em água, devido a maioria dos processos de secagem por atomização serem realizados a partir de formulações aquosas de alimentos (PEREIRA et al., 2018).

A interação formada na microencapsulação do agente protetor com compostos bioativos, principalmente fenólicos, pode ajudar na biodisponibilidade desse composto durante a etapa digestiva (GRGIC et al., 2020), além de prevenir a perda durante a etapa de armazenamento. As condições de estocagem, principalmente umidade e temperatura, interverem na quantidade de compostos bioativos disponíveis (RAJAPAKSHA; SHIMIZU, 2020). O uso de material protetor previne a degradação de fenólicos quando comparado com amostras sem agentes protetores. Estudos mostram que as proteínas do soro apresentam melhor proteção de fenólicos do café, durante a estocagem, quando comparadas com outros polímeros (ABRAHÃO et al., 2019).

O leite em pó desnatado é o material de parede à base de proteínas mais utilizado para microencapsulação devido à sua alta eficiência com baixo custo e fácil acesso (CANO-HIGUITA et al., 2015). Sua porção de proteína tem um excelente caráter anfifílico, oferecendo as características ideais para microencapsulação de compostos bioativos, enquanto a porção de carboidrato oferece uma baixa temperatura de transição vítrea (JARUNGLUMLERT; NAKAGAWA; ADACHI, 2015). Esse caráter anfifílico pode ser devido à sua capacidade de absorver rapidamente os

compostos hidrofóbicos formando camadas espessas com baixa mobilidade lateral que poderiam ser ligadas a outro complexo proteico por ligações coesivas, impedindo a coalescência ou floculação da emulsão por ligações eletrostáticas e/ou estéricas (SHAMAEI et al., 2017).

O concentrado protéico de soro de leite (WPC) é um subproduto da indústria de queijos e possui múltiplas aplicações na indústria alimentícia (PINTO et al., 2015). É uma mistura de diferentes proteínas como β -lactoglobulina, α -lactalbumina e outros constituintes menores, como albumina sérica e imunoglobulinas (LAM; NICKERSON, 2015). A proteína do soro do leite pode ser usada sozinha ou em combinação com outros materiais de parede, e apresenta uma excelente capacidade de formação de filme e grande capacidade de retenção de nutrientes no processo de encapsulamento (BHUSARI et al., 2014; BAZARIA; KUMAR, 2016; SHISHIR; CHEN, 2017). Além disso, a proteína do soro do leite é amplamente consumida por atletas e praticantes de atividade física devido ao seu conteúdo de aminoácidos de cadeia ramificada (leucina, isoleucina e valina), peptídeos bioativos e cálcio, sendo considerado um produto que apresenta propriedades fisiológicas e funcionais que intensificam a hipertrofia (DAVIES et al., 2018).

A secagem por atomização é um processo que apresenta vantagens para o encapsulamento de bioativos. Trata-se de um método simples e de fácil operação que possui baixo custo operacional, permite o controle de características específicas como tamanho e morfologia das partículas, possibilita o processamento de substâncias sensíveis ao calor com baixo risco de degradação, viabiliza o projeto de partículas com propriedades de liberação controlada, alta eficiência de encapsulamento e vida útil estendida para os pós obtidos (ASSADPOUR; JAFARI, 2019). Portanto, o uso da técnica de microencapsulação por *spray-drying* de compostos bioativos extraídos da película prateada do café, é uma técnica que pode viabilizar a ampliação da aplicação desse resíduo em produtos alimentícios.

3.5 UTILIZAÇÃO DE FONTES VEGETAIS COM SUBSTÂNCIAS BIOATIVAS COMO INGREDIENTES ALIMENTÍCIOS

Há grande demanda de consumo por alimentos com propriedades bioativas, porém, muitos desses componentes são instáveis em condições de processamento e armazenamento ou exibem um sabor residual, o que limita sua aplicação. Os extratos

vegetais podem ser incorporados diretamente nos produtos alimentícios ou submetidos anteriormente a técnicas que possam maximizar suas características bioativas e tecnológicas. Assim, a técnica de encapsulação é uma alternativa para a aplicação desses compostos em matrizes alimentares diversas (BALLESTEROS et al., 2017; SUN et al., 2019).

Muitos trabalhos têm utilizado a encapsulação com diversas finalidades, como por exemplo, em microcápsulas de óleo de linhaça para manter estabilidade quando adicionadas em pão (GALLARDO et al., 2013); microcápsulas de óleo de tomilho como ingrediente antimicrobiano em bolo (GONÇALVES et al., 2017); e a adição de microcápsulas de resveratrol em bala de goma e barra de cereal para atenuar o seu amargor e instabilidade a luz (KOGA et al., 2016).

Além do uso da encapsulação para proteção da estabilidade térmica, manutenção das propriedades e mascaramento do sabor e odor, outros trabalhos realizaram a coencapsulação de xilitol e mentol para aplicação em goma de mascar com o objetivo de intensificar a sensação refrescante de hortelã e controlar a liberação desses compostos (SANTOS et al., 2014); e a microencapsulação de carotenoides do óleo de palma para promover a estabilidade e liberação controlada em condições específicas quando aplicadas em iogurte e pão (RUTZ et al., 2016).

Outro estudo analisou a diferença de encapsulação de extratos de polpa de acerola e seus resíduos por dois métodos de secagem: *spray-drying* e liofilização. Como principal resultado, foi observado que o tratamento com *spray-drying* apresentou o melhor perfil, apresentando extratos encapsulados com concentrações mais elevadas de compostos bioativos, como antocianinas, flavonoides e compostos fenólicos totais, maior atividade antioxidante e melhores características físico-químicas, como menor umidade, atividade de água, higroscopicidade e maior solubilidade (REZENDE; NOGUEIRA; NARAIN, 2018).

Em uma pesquisa com objetivo de analisar a extração de compostos antioxidantes do bagaço de amora-preta e avaliar o efeito da microencapsulação por *spray-drying*, utilizando maltodextrina, na estabilidade das amostras em diferentes valores de pH, os extratos microencapsulados apresentaram menor variação de cor ao longo do armazenamento, quando comparado aos extratos não encapsulados, e menor degradação de antocianinas. Foi observado que os extratos encapsulados apresentaram maior estabilidade, apresentando maiores tempos de meia-vida e menores constantes de degradação de antocianinas em valores de pH até 5,0, sendo

possível utilizá-los como corante e como compostos antioxidantes em diversos tipos de alimentos, como iogurtes, bebidas lácteas, sucos, geleias, dentre outros (SANTOS et al., 2017).

O encapsulamento de compostos bioativos extraídos de borras de café expresso utilizando a técnica de *spray-drying* foi avaliado. O encapsulamento foi realizado utilizando proteína isolada de soro de leite e sua combinação com maltodextrina, goma arábica e inulina. Foi observado que os encapsulados obtidos apresentaram quantidades consideráveis de antioxidantes, como a cafeína e ácido clorogênico, presentes na borra de café. As amostras apresentaram características morfológicas semelhantes, com formato esférico, superfície enrugada e ausência de fissuras na superfície, conferindo maior proteção e estabilidade dos compostos bioativos. Os autores concluíram que os produtos encapsulados podem ser potencialmente usados como um ingrediente alimentar ou farmacêutico, permitindo a formulação de produtos com aspectos funcionais (ABRAHÃO et al., 2019).

Ao realizar a encapsulação de cascas de grão de cacau com soluções a 50% (m/v) de WPC e maltodextrina, Jokić et al. (2020) encontrou como principais resultados que a proteína do soro foi vantajosa ao encapsulamento de fenólicos, em termo de reidratação, índice de solubilidade em água e índice de absorção de água. Verificou-se também uma melhor preservação de compostos fenólicos.

Embora a utilização da película prateada do café em produtos alimentícios seja descrita na literatura científica, há poucos trabalhos direcionados à encapsulação da película prateada, mas outros componentes da produção do café foram estudados. No trabalho de Desai e colaboradores (2019), o extrato de café verde foi encapsulado com leite em pó desnatado e maltodextrina. Como principal resultado, os produtos microencapsulados forneceram melhor proteção durante digestão simulada, quando comparada ao extrato não encapsulado.

Carmo (2019) também realizou a secagem de extrato de café verde por *spray-dryer*, utilizando inulina e polidextrose como encapsulantes. O uso da técnica foi eficiente na microencapsulação do extrato de café verde, permitindo a produção de extratos encapsulados com quantidades consideráveis de fenólicos totais, cafeína, ácido clorogênico, trigonelina e elevado potencial antioxidante. Já Araújo et al. (2022) ao encapsular borra de café com maltodextrina, goma arábica e albumina do ovo em diferentes combinações, encontrou altos teores de compostos fenólicos e antioxidantes.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAS DE PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ

As amostras de película prateada do café (*Coffea arabica* L.) foram obtidas de uma empresa de torrefação. A película foi moída em moinho de facas micro (SOLAB SL32) e tamisada (granulação de 53 μm).

4.2 OBTENÇÃO DO EXTRATO DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ

Para a obtenção do extrato da película prateada do café foram adicionados 1g da amostra moída e tamisada, em 50 mL de água, sendo em seguida submetida à 50°C em chapa aquecedora e constante agitação (600rpm) em agitador mecânico (FISATOM). Posteriormente, o extrato foi filtrado sob bomba de vácuo por meio de funil de Büchner e vidraria de kitassato, utilizando papel de filtro, tipo millex 14 μm . A extração foi realizada em triplicata e armazenada a -25°C antes das análises (COSTA et al., 2014).

Após o processo de extração, parte do extrato foi congelado a -80 °C e liofilizado (JJCIENTÍFICA®, JJ04) por 24 horas, para utilização como controle. Após a liofilização, o extrato foi mantido em dessecador (LAINE et al., 2008; RUTZ, 2013).

4.3 PREPARO DAS MICROCÁPSULAS POR *SPRAY-DRYING*

Soluções de agentes encapsulantes (leite em pó desnatado e WPC) foram preparadas a 10% (p/v). As misturas resultantes foram homogeneizadas até completa solubilização em agitador mecânico (FISATOM). A microencapsulação foi realizada por *spray-dryer* (Buchi Mini *Spray Dryer* B-290) com temperaturas do ar de entrada e saída de 162,5 \pm 2,5°C e 82,5 \pm 2,5°C, respectivamente. Os pós obtidos foram acondicionados em sacos de polietileno contendo uma camada laminada e armazenados na ausência de luz em dessecador.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DO EXTRATO DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ MICROENCAPSULADO

4.4.1 Determinação do teor de água e atividade de água

A determinação do teor de água, foi avaliado no analisador de umidade por infravermelho (Shimadzu, modelo MOC63u, Quioto, Japão). Previamente, a termo balança foi calibrada, conforme as indicações do fabricante. Para cada amostra, uma massa, de aproximadamente 1,0 g, foi colocada em um prato de alumínio e mantida em aquecimento a 105°C, durante um período de tempo variável, até a massa constante. O valor em porcentagem referente à perda de massa foi calculado como sendo o teor de água da amostra. A atividade de água (a_w) foi medida por leitura direta, usando um instrumento AquaLab 4TE (Decagon Devices, Pullman, Washington) a 25 ± 1 °C. Ambas as análises foram realizadas em triplicatas.

4.4.2 Determinação da distribuição do tamanho das partículas

A distribuição do tamanho de partícula foi medida por difração a laser Beckman Coulter LS 13320, equipado com módulo líquido aquoso (ALM). Quantidades suficientes das amostras para gerar a turbidez necessária para as leituras foram adicionadas ao reservatório do módulo de análise de líquidos, contendo água em temperatura ambiente. A intensidade da luz dispersa foi transformada no fator de difusão (HEJJAJI; SMITH; MORRIS, 2017).

4.4.3 Análise de cor

Para a obtenção do perfil colorimétrico das amostras, foi utilizado o colorímetro da marca Chroma Meter®, com leitura direta da reflectância das coordenadas L^* , a^* , b^* . Foram realizadas três medições de cada parâmetro colorimétrico com homogeneização em cada uma das amostras (STANGERLIN et al., 2013). O índice de escurecimento (BI), utilizado para avaliar a intensidade de cor marrom das amostras, foi calculado pela equação (1) que correlaciona os parâmetros L^* , a^* e b^* (OLIVEIRA et al., 2012).

$$BI = \frac{[100x(x-0.31)]}{0.17} \quad (1)$$

$$\text{Onde } x = \frac{(a^* + 1.750 x L^*)}{(5.645 x L^* + a^* - 3.012 x b^*)}$$

4.4.4 Determinação de compostos fenólicos totais

A determinação de fenóis totais foi realizada por meio do método espectrofotométrico *Folin Ciocalteu*, segundo metodologia desenvolvida por Singleton e Rossi (1965) com modificações. As amostras (1 mg/mL) foram pesadas e solubilizadas em metanol. Em microplaca de 96 poços foram adicionados 120µL de solução Folin Ciocalteu (20% v/v em água destilada), 100 µL de solução carbonato de sódio (4% m/v em água destilada) e 30 µL da solução estoque das amostras. Após 30 minutos de reação ao abrigo da luz, a absorbância foi medida em 770 nm no espectrofotômetro. Foi feito um branco utilizando-se as mesmas substâncias preparadas, com exceção da amostra, a qual foi substituída por metanol. Os resultados foram expressos em mg/g extrato equivalente a ácido gálico, baseada na curva de calibração de ácido gálico construída com concentrações variando entre 0,0075 mg/mL a 0,2 mg/mL. Todas as determinações foram realizadas em triplicata. Para análise dos resultados foi usado Excel (regressão linear).

4.4.5 Atividade antioxidante

4.4.5.1 Método de sequestro do radical 2,2-difenil-1-picril-hidrazil (DPPH)

Para determinar o potencial antioxidante das amostras, utilizou-se o método de sequestro do radical livre 2,2-difenil-1-picril-hidrazila (DPPH) descrito por Govindarajan e colaboradores (2003), com algumas modificações. Em uma placa de 96 poços foram adicionados 100µL da substância da referência quercetina e amostras (1 mg/mL) nas concentrações de 250 a 0,49µg/mL (diluições sucessivas). Em seguida, foram adicionados 150µL de solução de DPPH (20 µg/mL) em metanol em todos os poços contendo amostra e substância de referência.

A substância padrão (quercetina) e as amostras foram solubilizadas em metanol. A placa foi incubada por 30 min ao abrigo da luz e, sequencialmente, a absorbância foi determinada a 517nm em espectrômetro de microplacas. Todo o

experimento foi realizado em triplicata e os resultados foram expressos na forma de IC50 e porcentagem de inibição, com auxílio do programa GraphPad Prism 5.0.

4.4.5.2 Inibição do radical óxido nítrico (NO•)

O potencial antioxidante das amostras foi mensurado através da capacidade das amostras em inibir o radical NO•. Foi utilizado o método descrito por Green et al. (1982) com modificações, através de dosagem indireta pelo Método de Griess. Para o ensaio, as amostras e substância de referência foram solubilizadas em tampão fosfato e testadas nas concentrações de 250 a 7,8 µg/mL (diluições sucessivas). Foi utilizado controle negativo com todos os reagentes exceto a amostra.

Em placa de 96 poços foram adicionados 62,5 µL de nitroprussiato de sódio (NPS) (10 mM) solubilizado em tampão fosfato (10mM, pH 7,4) e 62,5 µL das amostras (1mg/mL) e substância de referência (ácido gálico) (1mg/mL). Após a adição do NPS, a placa permaneceu à luz e temperatura ambiente por 60 minutos. Em seguida, 125 µL do reagente de Griess foi adicionado, procedendo-se à leitura da absorbância após 10 minutos, no comprimento de onda 540 nm em espectrofotômetro de microplacas. Para o cálculo da porcentagem de inibição a seguinte equação (2) foi utilizada:

$$\% \text{ de inibição} = 100 - \left(\frac{A_{am} \times 100}{A_c} \right) \quad (2)$$

Onde:

Ac é a absorbância do controle negativo;

Aam é a absorbância da amostra subtraída do branco da amostra.

4.4.6 Análise morfológica

A análise morfológica dos extratos de película prateada do café secados em *spray-drying* foi realizada com o auxílio de microscópio eletrônico de varredura (MEV) JEOL modelo TM3000. As amostras encapsuladas com leite em pó desnatado e WPC foram fixadas em um suporte metálico com auxílio de uma fita dupla-face de carbono. A visualização foi realizada no aumento de 100, 250, 500 e 1000x.

4.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A análise estatística dos resultados foi realizada pelo programa de estatística GraphPad Prism® (versão 8.0). Os resultados foram expressos pela média \pm erro padrão da média, comparando os diferentes grupos de acordo com o método de análise de variância ANOVA, seguido do teste de Tukey. Foram consideradas diferenças significativas os valores de $p < 0,05$.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO INGREDIENTE BIOATIVO DA PELÍCULA PRATEADA DO CAFÉ

5.1.1 Determinação de teor de água, atividade de água e distribuição do tamanho das partículas

A caracterização do extrato da película prateada do café e dos ingredientes obtidos, quanto ao teor de água, atividade de água e distribuição do tamanho das partículas, estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Teor de água, atividade de água e tamanho de partículas do ingrediente bioativo da película prateada do café

	E	E/LP	E/WPC
%H ₂ O	9,83 ± 2,33 ^a	4,02 ± 0,26 ^b	4,77 ± 0,39 ^b
a _w	0,44 ± 0,00 ^a	0,24 ± 0,01 ^b	0,20 ± 0,01 ^c
Dv ₉₀ (µm)	31,57 ± 0,37 ^a	196,17 ± 7,71 ^b	18,61 ± 7,46 ^a
<1µm (%)	9,50 ± 0,35 ^a	6,92 ± 1,84 ^a	9,07 ± 4,12 ^a

Valores expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si (p≤0,05). E: extrato de película prateada do café; E/LP: extrato de película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado; E/WPC: extrato de película prateada do café encapsulado com proteína concentrada do soro do leite.

Fonte: ELABORADO PELA PRÓPRIA AUTORA (2022)

Não houve diferença significativa (p≤0,05) para o teor de água entre os ingredientes obtidos. O teor de água do extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado instantâneo foi de 4,02 ± 0,26 % e do extrato da película prateada do café encapsulado com WPC foi de 4,77% ± 0,39 %. Os resultados de teor de água para os ingredientes foram inferiores ao obtido para o extrato da película prateada do café (9,83 ± 2,33 %).

O teor de água é uma característica importante em produtos em pó por interferir na fluidez, pegajosidade e estabilidade ao longo do armazenamento. Os valores de teor de água obtidos para os ingredientes estão dentro de uma faixa ideal, abaixo de 5%, que garante maior estabilidade e diminuição da degradação para produtos em pó (COUTO et al., 2013; CARMO et al., 2018). Além disso, o baixo teor de água evita a

aglomeração de partículas e o empastamento, o que poderia reduzir a retenção de componentes bioativos (DAZA et al., 2016).

A atividade de água apresentou diferenças significativas ($p \leq 0,05$) entre os valores encontrados. Comparando os materiais encapsulantes, o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC apresentou menor a_w que o encapsulado com leite em pó instantâneo, para $p \leq 0,05$. A atividade de água do extrato encapsulado com WPC foi de $0,20 \pm 0,01$ e leite em pó desnatado foi de $0,24 \pm 0,01$. Em ambos os casos, a atividade de água é significativamente menor ($p \leq 0,05$) quando comparada ao extrato liofilizado da película prateada do café ($0,44 \pm 0,00$).

Esses valores foram menores do que os encontrados por Calva-Estrada et al. (2018), em que as microcápsulas de extrato natural e sintético de baunilha encapsuladas com WPC, apresentaram atividade de água de $0,350 \pm 0,01$ e $0,335 \pm 0,02$, respectivamente. Os valores encontrados para atividade de água também são ligeiramente menores que os encontrados por Rocha et al. (2019), em que os pós encapsulados de jabuticaba, jussara e mirtilo tiveram valores entre 0,3 e 0,4 para os diferentes agentes encapsulantes utilizados, entre eles WPC, maltodextrina e goma arábica.

Os alimentos de baixa atividade de água ($< 0,60$) são microbiologicamente mais estáveis. A atividade de água elevada indica maiores teores de água livre para a ocorrência de reações bioquímicas e, portanto, menor prazo de validade (FENNEMA, 2010). De acordo com de Paula et al. (2020), as atividades de água acima dessa faixa podem resultar em reações de degradação do produto, hidrólise e reações não enzimáticas, possibilitando o desenvolvimento de microrganismos. Portanto, os pós encapsulados com leite em pó desnatado instantâneo e WPC nessa faixa de valor podem ser considerados valores baixos de atividade de água, promovendo a melhor conservação e prolongamento da vida útil dos produtos em pó.

Na Tabela 1 também foram apresentados os dados referentes à distribuição granulométrica pela porcentagem de partículas menores que $1 \mu\text{m}$ de tamanho e os dados Dv_{90} , em que 90% das partículas com valores iguais ou inferiores ao resultado obtido. O extrato da película prateada do café encapsulado com WPC apresenta um valor significativamente ($p \leq 0,05$) menor de Dv_{90} quando comparado ao extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado. Enquanto no extrato da película prateada do café encapsulado com WPC 90% das partículas estão com tamanho abaixo de $18,61 \pm 7,46 \mu\text{m}$, para o extrato da película prateada do café

encapsulado com leite em pó desnatado, 90% das partículas estão com tamanho abaixo de $196,17 \pm 7,71\mu\text{m}$. Para esse mesmo parâmetro, não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre o extrato da película prateada do café e o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC.

Sabe-se que quanto maior o valor de Dv_{90} , menor a eficiência de reconstituição do pó (DE PAULA et al., 2020). De Paula et al. (2020), encontrou uma média de 51,11 a 171,18 para Dv_{90} em três dos tratamentos utilizados, valores maiores quando comparado ao valor de Dv_{90} encontrado para o extrato de película prateada do café encapsulado com WPC, o que demonstra uma pior reconstituição dos pós.

Com relação ao parâmetro $<1\mu\text{m}$ (%), não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre a porcentagem de partículas menores que $1\mu\text{m}$ nas três amostras. Na análise das partículas da película prateada do café, $9,50 \pm 0,35\%$ estão na região abaixo de $1\mu\text{m}$. Enquanto no extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó, $6,92 \pm 1,84\%$ das partículas estão na região menor que $1\mu\text{m}$ e no extrato da película prateada do café encapsulado com WPC, $9,07 \pm 4,12\%$ das partículas estão abaixo de $1\mu\text{m}$. Uma maior quantidade de partículas na região abaixo de um micrometro, mostra uma melhor capacidade de reidratação dos pós (FRANCISQUINI et al., 2020).

Por meio dos resultados obtidos, é possível inferir que o extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó teve uma pior capacidade de reidratação, visto que seus resultados apresentaram uma menor quantidade de partículas na região abaixo de $1\mu\text{m}$ e o Dv_{90} é maior. Já o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC, apresentou numericamente o maior percentual de partículas abaixo de $1\mu\text{m}$ e Dv_{90} estatisticamente menor ($p \leq 0,05$), ou seja, grande parte das partículas dele estão numa região bem mais baixa do que o extrato da película prateada do café com leite em pó. Com isso, pode-se inferir que o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC foi o que teve uma melhor capacidade de reidratação.

5.1.2 Análise de cor

Os parâmetros de cor avaliados foram, a coordenada L^* que representa a quão clara ou escura é a amostra, com valores variando de 0 (totalmente escuro) a 100 (totalmente claro); coordenada a^* (componente verde/vermelho) e a coordenada b^*

(componente azul/amarelo). O índice de escurecimento (BI) foi utilizado para avaliar a intensidade da cor marrom das amostras, correlacionando os parâmetros L*, a* e b*. Os resultados colorimétricos obtidos estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores médios dos parâmetros de cor e do índice de escurecimento das amostras

	E	LP	WPC	E/LP	E/WPC
L*	31,16 ± 1,16 ^a	95,91 ± 0,01 ^b	92,47 ± 0,02 ^c	88,47 ± 0,22 ^d	88,21 ± 0,05 ^d
a*	9,93 ± 0,20 ^a	-4,62 ± 0,02 ^b	-2,28 ± 0,01 ^c	0,75 ± 0,37 ^d	-0,07 ± 0,07 ^e
b*	13,02 ± 2,56 ^a	16,25 ± 0,09 ^b	16,24 ± 0,11 ^b	15,90 ± 0,30 ^b	15,35 ± 0,14 ^b
BI	77,36 ± 16,65 ^a	14,46 ± 0,12 ^b	16,99 ± 0,14 ^b	19,99 ± 0,40 ^b	18,60 ± 0,14 ^b

Valores expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si ($p \leq 0,05$). L* indica luminosidade, coordenada a* verde-vermelho, coordenada b* azul-amarelo e BI (*browning index*) o índice de escurecimento. E: extrato de película prateada do café; LP: leite em pó desnatado; WPC: proteína concentrada do soro do leite; E/LP: extrato de película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado; E/WPC: extrato de película prateada do café encapsulado com proteína concentrada do soro do leite.

Fonte: ELABORADO PELA PRÓPRIA AUTORA (2022)

Ao analisar os resultados obtidos para L*, houve uma variação de $31,16 \pm 1,16$ a $95,91 \pm 0,01$ para as amostras. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre o extrato da película prateada do café ($31,16 \pm 1,16$), o leite em pó desnatado ($95,91 \pm 0,01$) e o WPC ($92,47 \pm 0,02$). Essa coordenada foi menor para o extrato liofilizado da película prateada do café, o que pode ser explicado pela sua cor característica do café torrado. Em contrapartida, o número foi maior para o leite em pó desnatado, indicando que sua coloração é a mais próxima de branco. Nas amostras dos ingredientes bioativos, o resultado de luminosidade não teve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre eles, sendo de $88,47 \pm 0,22$ para o extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado e de $88,21 \pm 0,05$ para o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC. Por meio da análise desses resultados, é possível concluir que a encapsulação torna o pó mais claro, sendo essa uma característica que beneficia seu uso como ingrediente na indústria de alimentos.

Quanto à coordenada a* houve diferença significativa entre os tratamentos ($p \leq 0,05$). A média de encapsulados com leite em pó desnatado instantâneo foi de $0,75 \pm 0,37$ e WPC foi de $-0,07 \pm 0,07$. Esses resultados indicam que o valor encontrado para o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC, está mais próximo de verde, quando comparado ao extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado. Também houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) dos

resultados do extrato da película prateada do café, leite em pó desnatado e WPC ($9,93 \pm 0,20$, $-4,62 \pm 0,02$ e $-2,28 \pm 0,01$, respectivamente). Entre eles, os valores encontrados para a película prateada do café indicam maior proximidade da coloração avermelhada, em comparação aos demais.

Ao comparar a variável b^* , observa-se que não há diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras de leite em pó desnatado ($16,25 \pm 0,09$), WPC ($16,24 \pm 0,11$) e ambos os extratos da película prateada do café encapsulados ($15,90 \pm 0,30$ para o extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó e $15,35 \pm 0,14$ para o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC). Contudo, há diferença significativa ($p \leq 0,05$) para o extrato de película prateada do café ($13,02 \pm 2,56$). Esses resultados indicam a maior proximidade das amostras de leite em pó desnatado, WPC e dos extratos da película prateada do café encapsulados com a coloração amarela, quando comparadas ao extrato da película prateada do café puro.

O índice de escurecimento é usado para avaliar a intensidade da cor marrom de diferentes produtos alimentícios, como kiwis durante a secagem com ar quente e micro-ondas (MASKAN, 2001), cogumelos frescos fatiados (OLIVEIRA et al., 2012), soro de leite isolado proteico (NORWOOD et al., 2017). Nesse trabalho, com relação ao índice de escurecimento, não houve diferença estatística significativa ($p \leq 0,05$) entre as amostras de leite em pó ($14,46 \pm 0,120$), WPC ($16,99 \pm 0,14$) e os ingredientes bioativos produzidos ($19,99 \pm 0,40$ para o extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó e $18,60 \pm 0,14$ para o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC), demonstrando que eles não são diferentes entre eles em termos de intensidade de coloração marrom. Já o extrato puro da película prateada do café, diferiu significativamente ($p \leq 0,05$) das demais amostras, sendo o valor de BI encontrado $77,36 \pm 16,65$.

Por meio desses resultados, é possível concluir que ambos os ingredientes obtidos a partir da película prateada do café e matrizes proteicas apresentaram resultados favoráveis à produção de um ingrediente alimentício com relação ao aspecto colorimétrico. Isso se confirma pelo parâmetro L^* que foi maior para as amostras encapsuladas quando comparada ao extrato da película prateada do café puro, e também para o BI, em que ambos os extratos da película prateada do café encapsulados apresentaram resultados menores estatisticamente ($p \leq 0,05$) quando comparados ao extrato da película prateada do café puro. Essa característica de um

pó mais claro é favorável no desenvolvimento de um ingrediente alimentício por apresentar menor interferência na coloração do produto final da indústria.

5.1.3 Determinação de compostos fenólicos e atividade antioxidante

Os resultados da análise de compostos fenólicos, de atividade antioxidante frente ao radical DPPH e da avaliação da atividade de sequestro de óxido nítrico (NO) do extrato de película prateada do café e dos ingredientes obtidos a partir da película prateada do café e as matrizes proteicas, estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Compostos fenólicos e atividade antioxidante das amostras

	E	E/LP	E/WPC	Quercetina*/ Ácido Gálico**
Compostos Fenólicos (mg AGE/g)	74,78 ± 5,02 ^a	29,23 ± 8,39 ^b	34,00 ± 8,38 ^b	-
DPPH (IC50)	66,15 ± 6,66 ^a	184,35 ± 33,85 ^b	9,53 ± 2,92 ^c	0,05 ± 0,00 ^c
NO (% inibição na concentração 250 µg/mL)	59,40 ± 3,15 ^a	57,73 ± 3,05 ^{ab}	44,24 ± 0,76 ^c	51,74 ± 3,09 ^b

Valores expressos como média ± desvio padrão. Médias seguidas por letras iguais na linha não diferem entre si ($p \leq 0,05$). *Padrão utilizado como referência no teste do DPPH; **Padrão utilizado como referência no teste do NO; E: extrato de película prateada do café; E/LP: extrato de película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado; E/WPC: extrato de película prateada do café encapsulado com proteína concentrada do soro do leite.

Fonte: ELABORADO PELA PRÓPRIA AUTORA (2022)

Com relação aos compostos fenólicos, os resultados encontrados foram de $74,78 \pm 5,02$ mg AGE/g de extrato liofilizado da película prateada do café, $29,23 \pm 8,39$ mg AGE/g para o extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado e de $34,00 \pm 8,38$ mg AGE/g para o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC. Não houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os extratos da película prateada do café encapsulados. O mesmo não acontece para o extrato da película prateada do café, em que há diferença significativa ($p \leq 0,05$) em comparação aos demais.

Nzekoue et al. (2020) realizou a extração da película prateada por meio de solventes distintos, os quais influenciaram diretamente no conteúdo total de fenólicos. A média dos resultados obtidos variou entre 40,4 a 73,4 mg AGE/g. Valores menores

foram encontrados por Zengin et al. (2020), que realizou a extração em banho ultrassônico. Foram encontrados valores para a composição de fenólicos entre 20,49 a 35,68 mg AGE/g.

Existem várias metodologias de extração para compostos fenólicos, uma vez que sua solubilidade pode variar de acordo com o solvente utilizado e também de acordo com outras variáveis, como tempo, temperatura e agitação. Nesse contexto, não existe uma única metodologia que abranja a extração de compostos fenólicos, onde a otimização da extração pode se dar pela interpolação de solventes, preparo da amostra ou métodos de extração, o que acarreta na amplitude de resultados encontrados (MARTUSCELLI et al., ALARA et al., 2021).

Vimercati et al. (2022) relata ter encontrado valor aproximado à 6 mg AGE/g ao analisar a composição de fenólicos em extrato de película prateada do café encapsulada com goma arábica, maltodextrina e albumina do ovo. Outros estudos analisaram a composição de fenólicos para diferentes extratos, utilizando leite em pó e WPC como encapsulantes.

Diferentes métodos podem ser utilizados para avaliar a atividade antioxidante em alimentos e sistemas biológicos (BALLESTEROS et al., 2017). No entanto, como cada método é baseado em reações diferentes, é altamente recomendável determinar o potencial antioxidante de uma amostra por métodos diferentes para melhor interpretar os resultados.

No ensaio de DPPH, observou-se aumento da capacidade antioxidante no extrato da película prateada do café encapsulado com WPC. Este método é baseado no consumo de radical DPPH pela reação com os extratos, em que a menor quantidade de redução de DPPH em 50% tem a maior capacidade antioxidante (DAWIDOWICZ et al., 2012). Ou seja, o resultado de IC50 obtido para o extrato da película prateada do café encapsulado com WPC (IC50 $9,53 \pm 2,92$) mostrou maior potencial antioxidante do que o encontrado para o extrato liofilizado da película prateada do café (IC50 $66,15 \pm 6,66$) e também para o extrato da película prateada do café encapsulado com leite em pó desnatado (IC50 $184,35 \pm 33,85$), além de ser estatisticamente equivalente à quercetina, substância de referência na reação. Isso pode ser atribuído à inativação de peroxidases, que apresentam atividade pró-oxidante, ou à formação de novos compostos antioxidantes, ou à melhora da capacidade antioxidante de compostos naturais (GOMES et al., 2020).

O resultado do presente estudo para atividade antioxidante foi melhor do que o encontrado por Calva-Estrada et al. (2018), em que as microcápsulas de extrato natural e sintético de baunilha encapsuladas com WPC, apresentaram IC50 de $36,20 \pm 3,50$ e $29,50 \pm 0,09$, respectivamente.

Para a avaliação da atividade de sequestro de óxido nítrico (NO), o extrato liofilizado da película prateada do café inibiu $59,40 \pm 3,15\%$ na concentração de 250 $\mu\text{g/mL}$; enquanto o extrato da película prateada do café microencapsulado com leite em pó desnatado e WPC inibiu $57,73 \pm 3,05\%$ e $44,24 \pm 0,76\%$, respectivamente, na mesma concentração. Houve diferença significativa ($p \leq 0,05$) entre os extratos da película prateada do café encapsulados.

Tanto o leite em pó desnatado quanto o WPC têm atividade antioxidante descrita na literatura (GAD et al., 2011; HU et al., 2018; KUŁAJ et al., 2022). A combinação de WPC com o extrato da película prateada do café potencializou significativamente a atividade antioxidante pelo método DPPH. O aumento do potencial da atividade antioxidante também foi relatado por Tsali e Goula (2018) e Kułaj et al. (2022) utilizando leite em pó e por Gad et al. (2011) e Hu et al. (2018) utilizando WPC.

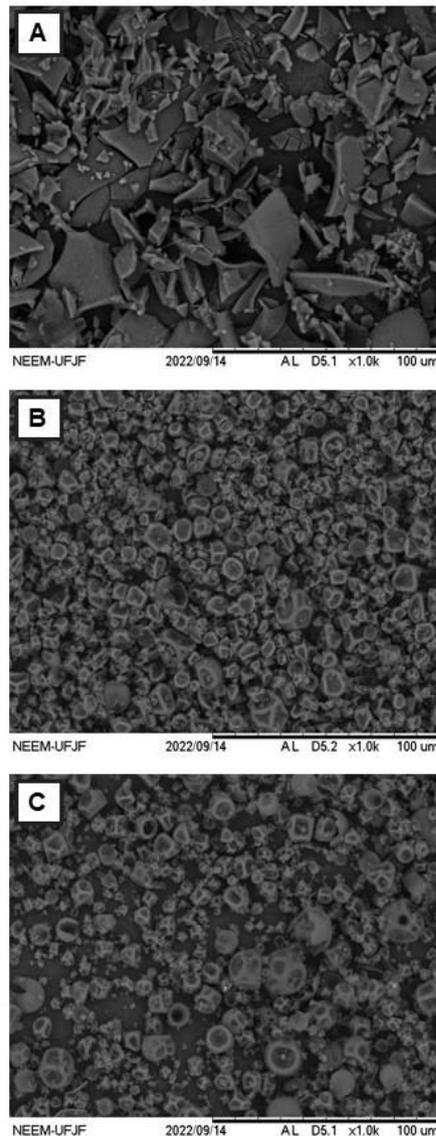
Em geral, a atividade antioxidante pode ser elevada pela conjugação de proteínas com compostos fenólicos, no entanto alguns estudos relatam a redução de atividade (FU et al., 2017; FENG et al., 2018, LIU et al., 2019). A atividade antioxidante dos conjugados fenólicos-proteínas depende do método de determinação da atividade antioxidante bem como da natureza dos fenólicos que participam da reação (LIU et al., 2019). Desta forma, o aumento da atividade antioxidante ao associar as proteínas do leite com os compostos fenólicos presentes no extrato da película prateada do café, pelo método DPPH, pode ser justificada pela interação sinérgica entre as moléculas.

O teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos ingredientes bioativos produzidos a partir da película prateada e matrizes proteicas demonstram o grande potencial de aplicação na indústria de alimentos.

5.1.4 Análise morfológica

Na figura 3 estão as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, do extrato da película prateada do café e dos extratos da película prateada do café encapsulados com leite em pó desnatado e WPC.

Figura 3 – Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura das amostras analisadas



Onde: A: extrato de película prateada do café; B: extrato de película prateada do café encapsulada com leite em pó desnatado e C: extrato de película prateada do café encapsulado com proteína concentrada do soro do leite. Eletromicrografias em aumento de 1000x.

Fonte: ELABORADO PELA PRÓPRIA AUTORA

De acordo com os resultados, é possível observar que o extrato liofilizado da película prateada do café, observado em A, apresentou uma morfologia completamente diferente, quando comparado as partículas secas por *spray-dryer*. A morfologia ficou semelhante a serragem, que é típica do processo de liofilização (MAHDAVEE KHAZAEI et al., 2014). De acordo com Kuck e Noreña (2016), a rigidez estrutural ocasionada pela superfície congelada e a falta de água no estado líquido resultam em uma estrutura porosa sem encolhimento, que é a principal característica de alimentos secos por liofilização. Além disso, o maior tamanho das partículas pode ser atribuído à baixa temperatura do processo e a falta de força para quebrar as partículas congeladas ou para alterar a superfície durante a secagem (CHEN; CHI; XU, 2012).

Por outro lado, as amostras B e C apresentaram maiores quantidades de partículas finas, mantiveram tamanhos muito semelhantes e a maioria das partículas apresentou um aspecto desidratado. As partículas encapsuladas por *spray-dryer* apresentaram uma superfície esférica com uma superfície externa enrugada com algumas concavidades, características típicas desse método de encapsulação (PASRIJA et al.; PINTO et al.; SANTIAGO-ADAME et al., 2015; BALLESTEROS et al., 2017).

Essas cápsulas esféricas absorvem o extrato e, após o processo de secagem, permitem que os componentes sejam protegidos nos materiais (BALLESTEROS et al., 2017). As concavidades presentes na superfície provavelmente são formadas pela retração/contração das partículas durante as etapas iniciais do processo de secagem, devido à drástica perda de umidade seguida de resfriamento (PINTO et al., 2015; KUCK; NOREÑA, 2016).

Além disso, o aspecto enrugado de algumas partículas pode estar relacionado à formação mais lenta da camada protetora durante a secagem das gotas atomizadas, que podem estar associadas ao uso de baixas temperaturas de secagem. Nesse caso, a camada protetora formada permanece úmida e flexível por mais tempo, de modo que a partícula pode desinflar e enrugar enquanto o vapor formado no interior da partícula se condensa à medida que a partícula se move para as regiões mais frias do secador (DIAS et al., 2018).

Segundo Ballesteros et al. (2017) é esperado que a morfologia das cápsulas mude após os processos de liofilização e *spray-dryer*, devido às diferentes condições que são usadas em cada processo. As duas técnicas de encapsulamento que

envolvem diferentes condições operacionais que influenciam fortemente a morfologia, a estabilidade e o mecanismo de liberação do composto bioativo (PASRIJA et al., 2015). Estas diferenças morfológicas podem alterar o poder de encapsulação e o mecanismo de liberação, podendo ter impactos diferentes quando incorporados em produtos alimentícios.

Por meio desses resultados, podemos concluir que os extratos da película prateada do café encapsulados por *spray-dryer* produzem partículas esféricas que podem proteger o material do núcleo, com encapsulamento uniforme sem poros na superfície, sendo fundamental para a ressuspensão e na melhor distribuição das partículas na indústria de alimentos, aprimorando as características tecnológicas do ingrediente.

6. CONCLUSÃO

Os ingredientes produzidos a partir do extrato da película prateada do café e leite em pó e WPC apresentaram atividade de água dentro de uma faixa que garante maior estabilidade e diminuição da degradação para produtos em pó. Esses resultados indicam que os ingredientes produzidos são microbiologicamente mais estáveis, promovendo assim a melhor conservação e prolongamento da vida útil dos produtos em pó.

Na análise da distribuição do tamanho das partículas, a partir dos resultados obtidos para Dv_{90} (μm) e $<1\mu\text{m}$ (%), pode-se inferir que o extrato da película prateada do café e WPC propicia uma melhor capacidade de reidratação, favorecendo as características tecnológicas do ingrediente. Os ingredientes produzidos apresentaram colorações mais claras, resultados favoráveis à produção de um ingrediente alimentício com relação ao aspecto colorimétrico.

O teor de compostos fenólicos e a atividade antioxidante dos ingredientes demonstram o grande potencial deles como fonte natural de compostos fenólicos e atividade antioxidante. Os ingredientes apresentaram partículas esféricas que podem proteger o material do núcleo, com encapsulamento uniforme sem poros na superfície, sendo fundamental para a ressuspensão e na melhor distribuição das partículas na indústria de alimentos, aprimorando as características tecnológicas do ingrediente.

O encapsulamento por *spray drying* demonstrou ser um processo para superar as desvantagens da instabilidade das moléculas bioativas e melhorar as características tecnológicas do produto.

Por meio desse trabalho foi possível desenvolver um ingrediente contendo bioativos extraídos da película prateada do café associados a matrizes proteicas, utilizando um método de secagem por *spray-drying*, com propriedades promissoras para aumentar a estabilidade e biodisponibilidade das substâncias fenólicas e características tecnológicas desejáveis, permitindo a aplicabilidade desse ingrediente em produtos alimentícios.

REFERÊNCIAS

ABIC (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ. Indicadores da Indústria de Café - 2020.

ABRAHÃO, F. R.; ROCHA, L. C. R.; SANTOS, T. A.; DO CARMO, E. L.; PEREIRA, L. A. S.; BORGES, S. V.; PEREIRA, R. G. F. A.; BOTREL, D. A. Microencapsulation of bioactive compounds from espresso spent coffee by spray drying. **LWT - Food Science and Technology**, v. 103, p. 116–124, 2019.

AGHBASHLO, M.; MOBLI, H.; MADADLOU, A.; RAFIEE, S. Influence of Wall Material and Inlet Drying Air Temperature on the Microencapsulation of Fish Oil by Spray Drying. **Food And Bioprocess Technology**, [S.L.], v. 6, n. 6, p. 1561-1569, 10 fev. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11947-012-0796-7>.

AGUIAR, J.; ESTEVINHO, B.N.; SANTOS, L. Microencapsulation of natural antioxidants for food application – The specific case of coffee antioxidants – A review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 58, p. 21-39, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.10.012>.

ALARA, O. R.; ABDURAHMAN, N. H.; UKAEGBU, C. I. Extraction of phenolic compounds: a review. **Current Research In Food Science**, [S.L.], v. 4, p. 200-214, 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crfs.2021.03.011>.

ALSUNNI, A. A. Energy Drink Consumption: beneficial and adverse health effects. **International Journal Of Health Sciences**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 459-465, 2015. Al Manhal FZ, LLC.

ARAÚJO, Cintia da Silva; VIMERCATI, Wallaf Costa; MACEDO, Leandro Levate; SARAIVA, Sérgio Henriques; TEIXEIRA, Luciano José Quintão; COSTA, Joyce Maria Gomes da; PIMENTA, Carlos José. Encapsulation of phenolic and antioxidant compounds from spent coffee grounds using spray-drying and freeze-drying and characterization of dried powders. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 87, n. 9, p. 4056-4067, 20 ago. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16281>.

ASSADPOUR, E.; JAFARI, S. M. Advances in SprayDrying Encapsulation of Food Bioactive Ingredients: From Microcapsules to Nanocapsules. **Annual Review of Food Science and Technology**, v.10, p. 8.18.29, 2019.

ATES, G.; ELMACI, Y. Coffee silverskin as fat replacer in cake formulations and its effect on physical, chemical and sensory attributes of cakes. **LWT - Food Science and Technology**, v. 90, p. 519-525, 2018.

BALLESTEROS, L. F.; RAMIREZ, M. J.; ORREGO, C. E.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Encapsulation of antioxidant phenolic compounds extracted from spent coffee grounds by freeze-drying and *spray-drying* using different coating materials. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 237, p. 623-631, dez. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.05.142>.

BAZARIA, B.; KUMAR, P. Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. **Food Bioscience**, [S.L.], v. 14, p. 21-27, jun. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2015.11.002>.

BEHROUZIAN, F.; AMINI, A. M.; ALGHOONEH, A.; RAZAVI, S. M. A. Characterization of dietary fiber from coffee silverskin: An optimization study using response surface methodology. **Bioactive Carbohydrates And Dietary Fibre**, [s. l.], v. 2, n. 8, p. 58-64, dez. 2016.

BEGUM, Y. A.; DEKA, S. C.. Stability of spray-dried microencapsulated anthocyanins extracted from culinary banana bract. **International Journal Of Food Properties**, [S.L.], v. 20, n. 12, p. 3135-3148, 12 abr. 2017. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10942912.2016.1277739>.

BHUSARI, S.N.; MUZAFFAR, Khalid; KUMAR, Pradyuman. Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. **Powder Technology**, [S.L.], v. 266, p. 354-364, nov. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2014.06.038>.

BONDESSON, E. A nutritional analysis on the by-product coffee husk and its potential utilization in food production. Institutionen för livsmedelsvetenskap: Publikation / Sveriges lantbruksuniversitet415. 2015.

BORRELLI, R. C.; ESPOSITO, F.; NAPOLITANO, A.; RITIENI, A.; FOGLIANO, V. Characterization of a new potential functional ingredient: Coffee silverskin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, p. 1338-1343, 2004. American Chemical Society (ACS).

BRESCIANI, L., CALANI, L., BRUNI, R., BRIGHENTI, F., & DEL RIO, D. Phenolic composition, caffeine content and antioxidant capacity of coffee silverskin. **Food Research International**, 61, 196–201. 2014.

CALVA-ESTRADA, S.J.; MENDOZA, M.R.; GARCÍA, O.; JIMÉNEZ-FERNÁNDEZ, V.M.; JIMÉNEZ, M.. Microencapsulation of vanilla (*Vanilla planifolia* Andrews) and powder characterization. **Powder Technology**, [S.L.], v. 323, p. 416-423, jan. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.035>.

CANO-HIGUITA, D. M., VILLA-VELEZ, H. A., TELIS-ROMERO, J., ALEXANDER, H., REGINA, V., TELIS, N. Influence of alternative drying aids on water sorption of spray dried mango mix powders : A thermodynamic approach. **Food and Bioprocess Processing**, 93, 19–28. 2015. doi:10.1016/j.fbp.2013.10.005.

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

CASTILLO, M.; IBÁÑEZ, E.; AMIGO-BENAVENT, M.; HERRERO, M.; PLAZA, M.; & ULLATE, M.; Application of products of coffee silverskin in anti-aging cosmetics and functional food. Espanha. 2013.

CHAO, J.; WANG, H.; ZHAO, W.; ZHANG, M.; ZHANG, L. Investigation of the inclusion behavior of chlorogenic acid with hydroxypropyl- β -cyclodextrin. **International Journal Of Biological Macromolecules**, [S.L.], v. 50, n. 1, p. 277-282, jan. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.11.008>.

CHEN, C.; CHI, Y. J.; XU, W. Comparisons on the Functional Properties and Antioxidant Activity of Spray-Dried and Freeze-Dried Egg White Protein Hydrolysate. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, p. 2342–2352, 2012.

CLIFFORD, M. N.; JAGANATH, I.B.; LUDWIG, I. A.; CROZIER, A. Chlorogenic acids and the acyl-quinic acids: discovery, biosynthesis, bioavailability and bioactivity. **Natural Product Reports**, [S.L.], v. 34, n. 12, p. 1391-1421, 2017. Royal Society of Chemistry (RSC).

COSTA, A. S. G., ALVES, R. C., VINHA, A. F., BARREIRA, S. V. P., NUNES, M. A., CUNHA, L. M., OLIVEIRA, M. B. P. P.; Optimization of antioxidants extraction from coffee silverskin, a roasting by-product, having in view a sustainable process. **Industrial Crops and Products**, v. 53, p. 350-357, 2014.

COSTA, A. S.G.; ALVES, R. C.; VINHA, A. F.; COSTA, E.; COSTA, C. S.G.; NUNES, M. A.; ALMEIDA, A. A.; SANTOS-SILVA, A.; OLIVEIRA, M. B. P.P.; Nutritional, chemical and antioxidant/pro-oxidant profiles of silverskin, a coffee roasting by-product. **Food Chemistry**, v. 267, p. 28-35, nov. 2018. Elsevier BV.

COUTO, R. O.; MARTINS, F. S.; CHAUL, L. T.; CONCEIÇÃO, E. C.; FREITAS, L. A. P.; BARA, M. T. F.; PAULA, J. R. Spray drying of *Eugenia dysenterica* extract: Effects of in-process parameters on product quality. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, v. 23, n. 1, p. 115–123, 2013.

DAVIES, R.; CARSON, B.; JAKEMAN, P. The Effect of Whey Protein Supplementation on the Temporal Recovery of Muscle Function Following Resistance Training: a systematic review and meta-analysis. **Nutrients**, [S.L.], v. 10, n. 2, p. 221, 16 fev. 2018. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/nu10020221>.

DAWIDOWICZ, A. L.; WIANOWSKA, D.; OLSZOWY, M. On practical problems in estimation of antioxidant activity of compounds by DPPH method (Problems in estimation of antioxidant activity). **Food chemistry**, v. 131, n. 3, p. 1037-1043, 2012.

DAZA, L. D.; FUJITA, A.; FÁVARO-TRINDADE, C. S.; RODRIGUES-RACT, J. N.; GRANATO, D.; GENOVESE, M. I. Effect of spray drying conditions on the physical properties of Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) fruit extracts. **Food and Bioprocess Processing**, v. 97, p. 20–29, 2016.

DESAI, N. M.; HAWARE, D. J.; BASAVARAJ, K.; MURTHY, P. S. Microencapsulation of antioxidant phenolic compounds from green coffee. **Preparative Biochemistry And**

Biotechnology, [S.L.], v. 49, n. 4, p. 400-406, 22 fev. 2019. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10826068.2019.1575858>.

DIAS, C. O.; DE ALMEIDA, J. DOS S. O.; PINTO, S. S.; SANTANA, F. C. DE O.; VERRUCK, S.; MÜLLER, C. M. O.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. DE M. C. Development and physico-chemical characterization of microencapsulated bifidobacteria in passion fruit juice: A functional non-dairy product for probiotic delivery. **Food Bioscience**, v. 24, p. 26–36, 2018.

DROSOU, C. G.; KROKIDA, M. K.; BILIADERIS, C. G. Encapsulation of bioactive compounds through electrospinning/electrospraying and spray drying: A comparative assessment of foodrelated applications. **Drying Technology**, p.139162, 2017.

ESQUIVEL, P.; JIMÉNEZ, V. M. Functional properties of coffee and coffee by-products. **Food Research International**, [s. /], v. 46, n. 2, p. 488-495, maio 2012.

FANG, Z.; BHANDARI, B.. Encapsulation of polyphenols – a review. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 21, n. 10, p. 510-523, out. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.08.003>.

FENG, J.; CAI, H.; WANG, H.; LI, C.; LIU, S. Improved oxidative stability of fish oil emulsion by grafted ovalbumin-catechin conjugates. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 241, p. 60-69, fev. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.08.055>.

FENNEMA, O.R. Química de alimentos de Fennema. Editora Artmed, 2010.

FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Coffee and its by-products as sources of bioactive compounds. In: MASSEY, J.L. Coffee: Production, Consumption and Health Benefits. **New York: Nova Science Publishers**, 2016. p. 1-28.

FRANCISQUINI, J.; MARTINS, E.; RENHE, I.; OLIVEIRA, L. F.; STEPHANI, R.; PERRONE, Í.; CARVALHO, A.. Particle size distribution applied to milk powder rehydration. **Química Nova**, [S.L.], v. 43, n. 2, p. 226-230, 2020. Sociedade Brasileira de Quimica (SBQ). <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170466>.

FU, S.; WU, C.; WU, T.; YU, H.; YANG, S.; HU, Y. Preparation and characterisation of Chlorogenic acid-gelatin: a type of biologically active film for coating preservation. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 221, p. 657-663, abr. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.11.123>.

FURUSAWA, M.; NARITA, Y.; IWAI, K.; FUKUNAGA, T.; NAKAGIRI, O. Inhibitory Effect of a Hot Water Extract of Coffee “Silverskin” on Hyaluronidase. **Bioscience, Biotechnology, And Biochemistry**, [S.L.], v. 75, n. 6, p. 1205-1207, 23 jun. 2011. Oxford University Press (OUP).

GAD, A. S.; KHADRAWY, Y. A.; EL-NEKEETY, A. A.; MOHAMED, S. R.; HASSAN, N. S.; ABDEL-WAHHAB, M. A.. Antioxidant activity and hepatoprotective effects of whey protein and Spirulina in rats. **Nutrition**, [S.L.], v. 27, n. 5, p. 582-589, maio 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.nut.2010.04.002>.

GALLARDO, G.; GUIDA, L.; MARTINEZ, V.; LÓPEZ, M. C.; BERNHARDT, D.; BLASCO, R.; PEDROZA-ISLAS, R.; HERMIDA, L. G. Microencapsulation of linseed oil by spray drying for functional food application. **Food Research International**, v. 52, p. 473–482, 2013.

GHARSALLAOUI, A.; ROUDAUT, G.; CHAMBIN, O.; VOILLEY, A.; SAUREL, R. Applications of *spray-drying* in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, v. 40, n. 9, p. 1107–1121, 2007.

GEMECHU, F. G.; Embracing nutritional qualities, biological activities and technological properties of coffee byproducts in functional food formulation. **Trends In Food Science & Technology**, [s. l.], v. 104, p. 235-261, out. 2020.

GOCMEN, D.; SAHAN, Y.; YILDIZ, E.; COSKUN, M.; & AROUFAL, I. A. Use of coffee silverskin to improve the functional properties of cookies. **Journal of Food Science & Technology**, 56(6), 2979–2988. 2019.

GOMES, J. V. P.; OLIVEIRA, L. A. de; PEREIRA, S. M. S.; CONCEIÇÃO, A. R. da; ANUNCIAÇÃO, P. C.; SOUZA, E. C. G. de; PERRONE, Í. T.; JUNQUEIRA, M. S.; SANT'ANA, H. M. P.; DELLA LUCIA, C. M. Comparison of bioactive compounds and nutrient contents in whey protein concentrate admixture of turmeric extract produced by spray drying and foam mat drying. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 345, p. 128772, maio 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128772>.

GONÇALVES, N. D.; PENA, F. DE L.; SARTORATTO, A.; DERLAMELINA, C.; DUARTE, M. C. T.; ANTUNES, A. E. C.; PRATA, A. S. Encapsulated thyme (*Thymus vulgaris*) essential oil used as a natural preservative in bakery product. **Food Research International**, v. 96, p. 154–160, 2017.

GORMLEY, R. Developing innovative food structures & functionalities through process & reformulation to satisfy consumer needs & expectations: Outcomes from the 32nd EFFoST. **In International conference 2018**. Nantes, France. v. 93, 2019.

GOVIDARAJAN, R.; RASTOGI, S.; VIJAYAKUMAR, M.; SHIRWAIKAR, A.; RAWAT, AKS.; MEHROTRA, S.; PUSHPANGADAN, P. Studies on the antioxidant activities of *Desmodium gangeticum*. **Biological & Pharmaceutical Bulletin**, v. 26, n. 10, p. 1424-1427, 2003.

GREEN, L. C.; WAGNER, D. A.; GLOGOWSKI, J.; SKIPPER, P. L.; WISHNOK, J. S.; TANNENBAUM, S. R. Analysis of nitrate, nitrite and nitrate in biological fluids. **Analytical Biochemistry**, v. 126, n. 1, p. 131-138, 1982.

GRGIĆ, J.; IELO, G.; PLANINIĆ, M.; TIŁMA, M.; BUCIĆ-KOJIĆ, A. Role of the Encapsulation in Bioavailability of Phenolic Compounds. **Antioxidants**, [S.L.], v. 9, n. 10, p. 923, 26 set. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/antiox9100923>.

GUGLIELMETTI, A.; FERNANDEZ-GOMEZ, B.; ZEPPA, G.; & DEL CASTILLO, M. D. Nutritional quality, potential health promoting properties and sensory perception of an improved gluten-free bread formulation containing inulin, rice protein and bioactive compounds extracted from coffee byproducts. **Polish Journal of Food and Nutrition**

Sciences, v. 69 (2), p. 157–166, 2019.

HEJJAJI, E. M.A.; SMITH, A. M.; MORRIS, G. A.; Designing chitosan-tripolyphosphate microparticles with desired size for specific pharmaceutical or forensic applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, n.95, p. 564-573, 2017.

HU, Y.; LI, Y.; ZHANG, W.; KOU, G.; ZHOU, Z. Physical stability and antioxidant activity of citrus flavonoids in arabic gum-stabilized microcapsules: modulation of whey protein concentrate. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 77, p. 588-597, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.10.037>.

IRIONDO-DEHOND, A.; GARCÍA, N. A.; FERNANDEZ-GOMEZ, B.; GUI SANTES-BATAN, E.; ESCOBAR, F. V.; BLANCH, G. P.; ANDRES, M. I. S.; SANCHEZ-FORTUN, S.; CASTILLO, M. D. del. Validation of coffee by-products as novel food ingredients. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 51, p. 194-204, jan. 2019. Elsevier BV.

IRIONDO-DEHOND, A.; MARTORELL, P.; GENOVÉS, S.; RAMÓN, D.; STAMATAKIS, K.; FRESNO, M.; MOLINA, A.; CASTILLO, M. del. Coffee Silverskin Extract Protects against Accelerated Aging Caused by Oxidative Agents. **Molecules**, [S.L.], v. 21, n. 6, p. 721, 1 jun. 2016. MDPI AG.

ISMAIL, S. A., EL-ANANY, A. M., ALI, R. F. M. Regeneration of used frying palm oil with coffee silverskin (CS), CS Ash (CSA) and nanoparticles of CS (NCS). **Journal of Oleo Science**, v. 66, p. 897-905, 2017.

JANISSEN, B.; HUYNH, T. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: A review. **Resources, Conservation And Recycling**, [S.L.], v. 128, p. 110-117, jan. 2018.

JARUNGLUMLERT, T.; NAKAGAWA, K.; ADACHI, S. Influence of aggregate structure of casein on the encapsulation efficiency of β -carotene entrapped via hydrophobic interaction. **Food Structure**, [S.L.], v. 5, p. 42-50, jul. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foostr.2015.05.001>.

JESZKA-SKOWRON, M.; SENTKOWSKA, A.; PYRZYŃSKA, K.; PEÑA, M. P. de. Chlorogenic acids, caffeine content and antioxidant properties of green coffee extracts: influence of green coffee bean preparation. **European Food Research And Technology**, [S.L.], v. 242, n. 8, p. 1403-1409, 9 fev. 2016. Springer Science and Business Media LLC.

JIMÉNEZ-ZAMORA, A., PASTORIZA, S., RUFÍAN-HENARES, J. A. Revalorization of coffee by-products. Prebiotic, antimicrobial and antioxidant properties. **LWT – Food Science and Technology**, v. 61, p. 12-18, 2015.

JOKIĆ, S.; NASTIĆ, N.; VIDOVIĆ, S.; FLANJAK, I.; ALADIĆ, K.; VLADIĆ, J. An Approach to Value Cocoa Bean By-Product Based on Subcritical Water Extraction and Spray Drying Using Different Carriers. **Sustainability**, [S.L.], v. 12, n. 6, p. 2174, 11 mar. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/su12062174>.

JONES, R. A.; PANDA, S. S.; HALL, C. D. Quinine conjugates and quinine analogues as potential antimalarial agents. **European Journal Of Medicinal Chemistry**, [S.L.], v. 97, p. 335-355, jun. 2015. Elsevier BV.

KESHANI, S.; DAUD, W. R. W.; NOUROUZI, M. M.; NAMVAR, F.; GHASEMI, M. Spray drying: An overview on wall deposition, process and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 146, p. 152–162, 2015.

KOGA, C. C.; SOO-YEU, L.; YOUNGSOO, L. Consumer Acceptance of Bars and Gummies with Unencapsulated and Encapsulated Resveratrol. **Journal of Food Science**, v. 81 (5), p. 1222-1229, 2016.

KUCK, L. S.; NOREÑA, C. P. Z. Microencapsulation of grape (*Vitis labrusca* var. Bordo) skin phenolic extract using gum Arabic, polydextrose, and partially hydrolyzed guar gum as encapsulating agents. **Food Chemistry**, v. 194, p. 569–576, 2016.

KUŁAJ, D.; POKORSKA, J.; BAUER, E. A. Associations between osteopontin gene polymorphism (OPN), milk yield, somatic cell score and age of cattle on milk antioxidant capacity. **International Dairy Journal**, [S.L.], v. 127, p. 105295, abr. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105295>.

KURIAKOSE, R.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Computational fluid dynamics (CFD) applications in spray drying of food products. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 21, n. 8, p. 383-398, ago. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2010.04.009>.

LAM, Ricky S.H.; NICKERSON, Michael T.. The effect of pH and temperature pre-treatments on the physicochemical and emulsifying properties of whey protein isolate. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 60, n. 1, p. 427-434, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2014.07.031>.

LAINE, P.; KYLLI, P.; HEINONEN, M.; JOUPPILA, K.; Storage stability of microencapsulated Cloudberry (*Rubus chamaemorus*) Phenolics. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, n. 56, p. 11251–11261, 2008.

LIU, F.; MA, C.; MCCLEMENTS, D. J.; GAO, Y. A comparative study of covalent and non-covalent interactions between zein and polyphenols in ethanol-water solution. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 63, p. 625-634, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.041>.

LIU, J.; YONG, H.; YAO, X.; HU, H.; YUN, D.; XIAO, L. Recent advances in phenolic–protein conjugates: synthesis, characterization, biological activities and potential applications. **Rsc Advances**, [S.L.], v. 9, n. 61, p. 35825-35840, 2019. Royal Society of Chemistry (RSC). <http://dx.doi.org/10.1039/c9ra07808h>.

LOZANO-VAZQUEZ, G.; LOBATO-CALLEROS, C.; ESCALONA-BUENDIA, H.; CHAVEZ, G.; ALVAREZ-RAMIREZ, J.; VERNON-CARTER, E.J.. Effect of the weight ratio of alginate-modified tapioca starch on the physicochemical properties and release kinetics of chlorogenic acid containing beads. **Food Hydrocolloids**, [S.L.], v. 48, p. 301-311, jun. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.02.032>.

MAHDAVEE KHAZAEI, K.; JAFARI, S. M.; GHORBANI, M.; HEMMATI KAKHKI, A. Application of maltodextrin and gum Arabic in microencapsulation of saffron petal's anthocyanins and evaluating their storage stability and color. *Carbohydrate Polymers*, v. 105, p. 57–62, 2014.

MARTINEZ-SAEZ, N.; ULLATE, M.; MARTIN-CABREJAS, M. A.; MARTORELL, P., GENOVÉS, S.; RAMON, D.; DEL CASTILLO, M. D. A novel antioxidant beverage for body weight control based on coffee silverskin. *Food Chemistry*, v. 150, p. 227-234, 2014.

MARTUSCELLI, M.; ESPOSITO, L.; MATTIA, C. di; RICCI, A.; MASTROCOLA, D. Characterization of Coffee Silver Skin as Potential Food-Safe Ingredient. *Foods*, [S.L.], v. 10, n. 6, p. 1367, 13 jun. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods10061367>.

MASKAN, M. Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal Of Food Engineering*, [S.L.], v. 48, n. 2, p. 169-175, maio 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774\(00\)00154-0](http://dx.doi.org/10.1016/s0260-8774(00)00154-0).

MOREIRA, A. S. P., NUNES, F. M., DOMINGUES, M. R., COIMBRA, M. A. Coffee melanoidins: structures, mechanisms of formation and potential health impacts. *Food & Function*, v. 3, p. 903-915, 2012.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Sustainable management of coffee industry by-products and value addition—A review. *Resources, Conservation And Recycling*, [s. l.], v. 66, p. 45-58, set. 2012.

MUSSATTO S.I.; ERCÍLIA, M.S.; MACHADO, S. M.; TEIXEIRA, J.A. Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues. *Food And Bioprocess Technology*, [S.L.], v. 4, p. 661-672, mar. 2011.

MUSTAFA, A. M.; CAPRIOLI, G.; DIKMEN, M.; KAYA, E.; MAGGI, F.; SAGRATINI, G.; VITTORI, S.; ÖZTÜRK, Y. Evaluation of neuritogenic activity of cultivated, wild and commercial roots of *Gentiana lutea* L. *Journal Of Functional Foods*, [S.L.], v. 19, p. 164-173, dez. 2015. Elsevier BV.

NARITA, Y.; INOUE, K. Review on utilization and composition of coffee silverskin. *Food Research International*, v. 61, p. 16-22, jul. 2014. Elsevier BV.

NIKOLOVA, Y.; PETIT, J.; GIANFRANCESCO, A.; SANDERS, C. F. W.; SCHER, J.; GAIANI, C.. Impact of *Spray-drying* Process Parameters on Dairy Powder Surface Composition and Properties. *Drying Technology*, [S.L.], v. 33, n. 13, p. 1654-1661, 19 jun. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/07373937.2015.1060494>.

NEDOVIC, V.; KALUSEVIC, A.; MANOJLOVIC, V.; LEVIC, S.; BUGARSKI, B. An overview of encapsulation technologies for food applications. *Procedia Food Science*, [S.L.], v. 1, p. 1806-1815, 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.265>.

NEVES, M. I. L.; DESOBRY-BANON, S.; PERRONE, I. T.; DESOBRY, S.; PETIT, J. Encapsulation of curcumin in milk powders by *spray-drying*: physicochemistry,

rehydration properties, and stability during storage. **Powder Technology**, [S.L.], v. 345, p. 601-607, mar. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2019.01.049>.

NORWOOD, E. A.; PEZENNEC, S.; BURGAIN, J.; BRIARD-BION, V.; SCHUCK, P.; CROGUENNEC, T.; JEANTET, R.; FLOCH-FOUÉRÉ, C. L. Crucial role of remaining lactose in whey protein isolate powders during storage. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 195, p. 206-216, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.010>.

NZEKOUÉ, F. K.; ANGELONI, S.; NAVARINI, L.; ANGELONI, C.; FRESCHI, M.; HRELIA, S.; VITALI, L. A.; SAGRATINI, G.; VITTORI, S.; CAPRIOLI, G. Coffee silverskin extracts: quantification of 30 bioactive compounds by a new hplc-ms/ms method and evaluation of their antioxidant and antibacterial activities. **Food Research International**, [S.L.], v. 133, p. 109128-109138, jul. 2020. Elsevier BV.

OLIVEIRA, F.; SOUSA-GALLAGHER, M.J.; MAHAJAN, P.V.; TEIXEIRA, J.A.. Evaluation of MAP engineering design parameters on quality of fresh-sliced mushrooms. **Journal Of Food Engineering**, [S.L.], v. 108, n. 4, p. 507-514, fev. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.09.025>.

OLIVEIRA, D. M.; SAMPAIO, G. R.; PINTO, C. B.; CATHARINO, R. R.; BASTOS, D. H. M.; Bioavailability of chlorogenic acids in rats after acute ingestion of maté tea (*Ilex paraguariensis*) or 5-caffeoylquinic acid. **European Journal of Nutrition**, 2016.

PASRIJA, D.; EZHILARASI, P. N.; INDRANI, D.; ANANDHARAMAKRISHNAN, C. Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, p. 289–296, 2015.

PAULA, I. L. de; TEIXEIRA, E. B. S.; FRANCISQUINI, J. D'A.; STEPHANI, R.; PERRONE, Í. T.; CARVALHO, A. F. de; OLIVEIRA, L. F. C. de. Buffalo powder dairy products with and without lactose hydrolysis: physical-chemical and technical-functional characterizations. **Lwt**, [S.L.], v. 151, p. 112124, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112124>.

PEREIRA, K. C. P.; FERREIRA, D. C. M.; ALVARENGA, G. F.; PEREIRA, M. S. S.; BARCELOS, M. C. S.; COSTA, J. M. G. Microencapsulação e liberação controlada por difusão de ingredientes alimentícios produzidos através da secagem por atomização: revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, p. 1–9, 2018.

PÉREZ-SARIÑANA, B. Y.; SALDAÑA-TRINIDAD, S. Chemistry and biotransformation of Coffee By-Products to Biofuels. **The Question Of Caffeine**, [S.L.], v. 0, n. 0, p. 143-161, 21 jun. 2017. InTech.

PINTO, S. S.; FRITZEN-FREIRE, C. B.; BENEDETTI, S.; MURAKAMI, F. S.; PETRUS, J. C. C.; PRUDÊNCIO, E. S.; AMBONI, R. D. M. C. Potential use of whey concentrate and prebiotics as carrier agents to protect *Bifidobacterium*-BB-12 microencapsulated by spray drying. **Food Research International**, [S.L.], v. 67, p. 400-408, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.038>.

POURFARZAD, A.; MAHDAVIAN-MEHR, H.; SEDAGHAT, N. Coffee silverskin as a source of dietary fiber in bread-making: optimization of chemical treatment using response surface methodology. **LWT – Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 599–606, 2013.

RAJAPAKSHA, S.; SHIMIZU, N. Pilot-scale extraction of polyphenols from spent black tea by semi-continuous subcritical solvent extraction. **Food Chemistry: X**, [S.L.], v. 13, p. 100200, mar. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100200>.

RAY, S., RAYCHAUDHURI, U., & CHAKRABORTY, R. An overview of encapsulation of active compounds used in food products by drying technology. **Food Bioscience**, v.13, p.76–83, 2016.

REGAZZONI, L.; SALIGARI, F.; MARINELLO, C.; ROSSONI, G.; ALDINI, G.; CARINI, M.; ORIOLI, M.; Coffee silver skin as a source of polyphenols: High resolution mass spectrometric profiling of components and antioxidant activity. **Journal of Functional Foods**, n. 20, p. 472–485, 2016.

RIBEIRO, V. S.; LEITÃO, A. E; RAMALHO, J. C.; LIDON, F. C. Chemical characterization and antioxidant properties of a new coffee blend with cocoa, coffee silverskin and green coffee minimally processed. **Food Research International**, v. 61, p. 39-47, 2014.

REZENDE, Y. R. R. S.; NOGUEIRA, J. P.; NARAIN, N. Microencapsulation of extracts of bioactive compounds obtained from acerola (*Malpighia emarginata* DC) pulp and residue by spray and freeze drying: Chemical, morphological and chemometric characterization. **Food Chemistry**, v. 254, p. 281–291, 2018.

ROCHA, J. de C. G.; BARROS, F. A. R. de; PERRONE, Í. T.; VIANA, K. W. C.; TAVARES, G. M.; STEPHANI, R.; STRINGHETA, P. C. Microencapsulation by atomization of the mixture of phenolic extracts. **Powder Technology**, [S.L.], v. 343, p. 317-325, fev. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.040>.

RODRIGUES, F.; ALVES, A. C.; NUNES, C.; SARMENTO, B.; AMARAL, M. H.; REIS, S.; & OLIVEIRA, M. B. P. P. Permeation of topically applied caffeine from a food byproduct in cosmetic formulations: Is nanoscale in vitro approach an option? **International Journal of Pharmaceutics**, 513, 496–503. 2016.

RODRIGUES, F.; PALMEIRA-DE-OLIVEIRA, A.; NEVES, J.d.; SARMENTO, B.; AMARAL, M. H.; & OLIVEIRA, M. B. P. P. Coffee silverskin: A possible valuable cosmetic ingredient. **Pharmaceutical Biology**, 53, 386–394. 2015.

RUTZ, J. K.; **Caracterização e microencapsulação de suco de pitanga roxa (*Eugenia uniflora* L.)**. 2013. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Pelotas, 2013.

RUTZ, J. K.; BORGES, C. D.; ZAMBIAZI, R. C.; DA ROSA, C. G.; DA SILVA, M. M. Elaboration of microparticles of carotenoids from natural and synthetic sources for applications in food. **Food Chemistry**, v. 202, p. 324–333, 2016.

SANTOS, S. S.; RODRIGUES, L. M.; COSTA, S. C.; MADRONA, G. S. Antioxidant compounds from blackberry (*Rubus fruticosus*) pomace: Microencapsulation by *spray-dryer* and pH stability evaluation. **Food Packaging and Shelf Life**, p. 1–6, 2017.

SANTIAGO-ADAME, R.; MEDINA-TORRES, L.; GALLEGOS-INFANTE, J.A.; CALDERAS, F.; GONZÁLEZ-LAREDO, R.F.; ROCHA-GUZMÁN, N.e.; OCHOA-MARTÍNEZ, L.A.; BERNAD-BERNAD, M.J.. Spray drying-microencapsulation of cinnamon infusions (*Cinnamomum zeylanicum*) with maltodextrin. **Lwt - Food Science And Technology**, [S.L.], v. 64, n. 2, p. 571-577, dez. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2015.06.020>.

SARRIÁ, B.; MARTÍNEZ-LÓPEZ, S.; SIERRA-CINOS, J. L.; GARCÍA-DIZ, L.; MATEOS, R.; BRAVO-CLEMENTE, L.; Regularly consuming a green/roasted coffee blend reduces the risk of metabolic syndrome. **European Journal of Nutrition**, 2016.

SCHMIEDER, A.; SCHWAIGER, S.; CSORDAS, A.; BACKOVIC, A.; MESSNER, B.; WICK, G.; et al. (2007). Isogentisin—a novel compound for the prevention of smoking-caused endothelial injury. **Atherosclerosis**, v. 194(2), p - 317–325. out, 2007.

SHAMAEI, S.; SEIILEDLOU, S. S.; AGHBASHLO, M.; TSOTSAS, E.; KHARAGHANI, A. Microencapsulation of walnut oil by spray drying: effects of wall material and drying conditions on physicochemical properties of microcapsules. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, [S.L.], v. 39, p. 101-112, fev. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2016.11.011>.

SHISHIR, M. R. I.; CHEN, W. Trends of spray drying: a critical review on drying of fruit and vegetable juices. **Trends In Food Science & Technology**, [S.L.], v. 65, p. 49-67, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

STANGERLIN, D. M.; COSTA, A. F.; GONÇALEZ, J. C.; PASTORE, T. C. M.; GARLE, A. Monitoramento da biodeterioração da madeira de três espécies amazônicas pela técnica da colorimetria. **Acta Amazônica**, n.4, v. 43, p. 429 – 438, 2013.

SUN, X.; CAMERON, R. G.; BAI, J. Effect of spraydrying temperature on physicochemical, antioxidant and antimicrobial properties of pectin/sodium alginate microencapsulated carvacrol. **Food Hydrocolloids**, v. 100, p. 105420, 2019.

TOMAC, I.; IERUGA, M.; LABUDA, J. Evaluation of antioxidant activity of chlorogenic acids and coffee extracts by an electrochemical DNA-based biosensor. **Food Chemistry**, [S.L.], v. 325, p. 126787, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126787>.

TSALI, A.; GOULA, A. M. Valorization of grape pomace: encapsulation and storage stability of its phenolic extract. **Powder Technology**, [S.L.], v. 340, p. 194-207, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.011>.

VEIGA, R. D. S. D. et al. Essential oils microencapsulated obtained by spray drying: a review. **Journal of Essential Oil Research**, v. 31, n. 6, p. 457473, 2019.

VIMERCATI, W. C.; ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; CORREA, J. L. G.; PIMENTA, C. J. Encapsulation of coffee silverskin extracts by foam mat drying and comparison with powders obtained by spray drying and freeze-drying. **Journal Of Food Science**, [S.L.], v. 87, n. 4, p. 1767-1779, 13 mar. 2022. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.16102>.

ZENGIN, G.; SINAN, K. I.; MAHOMOODALLY, M. F.; ANGELONI, S.; MUSTAFA, A. M.; VITTORI, S.; MAGGI, F.; CAPRIOLI, G. Chemical Composition, Antioxidant and Enzyme Inhibitory Properties of Different Extracts Obtained from Spent Coffee Ground and Coffee Silverskin. **Foods**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 713, 2 jun. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/foods9060713>.

ZHANG, T.; JEONG, C. H.; CHENG, W. N.; BAE, H.; SEO, H. G.; PETRIELLO, M. C.; HAN, S. G. Moringa extract enhances the fermentative, textural, and bioactive properties of yoghurt. *Lebensm. Wiss. Technol.* v. 101, p. 276–284, 2019.