

CARACTERIZAÇÃO E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS DO PROCESSAMENTO DO CAFÉ VISANDO APLICAÇÃO INDUSTRIAL

CHARACTERIZATION AND VALUATION OF COFFEE PROCESSING WASTE FOR INDUSTRIAL APPLICATION

Danyelle Andrade Mota¹; Anna Paula Rodrigues e Silva²; Acenini Lima Balieiro³ Laiza Canielas Krause⁴; Cleide Mara Faria Soares⁵

DOI: <https://doi.org/10.31692/IVCIAGRO.0200>

RESUMO

O café é uma das bebidas mais consumidas no mundo e muitos subprodutos são produzidos durante o processamento dos grãos de café. Esta pesquisa teve como objetivo analisar diferentes resíduos do café, caracterizando-os como fontes potenciais para a geração de produtos com valor agregado. Para a realização deste estudo, foram utilizados os seguintes resíduos: Silverskin do café proveniente de indústria de grande porte (SCG), Silverskin do café proveniente de indústria de pequeno porte (SCP), Borra de café (BC), Grão defeituoso do café Arábica (GDA) e Grão defeituoso Colnilon (GDC). As quantidades de umidade, cinzas, gordura, proteína e carboidrato foram determinadas com base nos métodos padrão da Associação de Químicos Agrícolas Oficiais (AOAC). O óleo bruto da borra de café foi caracterizado quanto às propriedades físico-químicas para possíveis aplicações. Os teores médios de umidade, cinzas, gorduras, proteínas e carboidratos da biomassa ficaram entre 4,9-72,6%, 0,3-10%, 1,9-13,6%, 11,6-16,8%. e 1,6-70,3%, respectivamente. O resultado foi semelhante ao encontrado na literatura em geral, podendo ocorrer algumas variações, pois as características dos grãos de café dependem não só do cultivo, mas também da torrefação, métodos de colheita, beneficiamento das sementes e armazenamento. Considerando o uso de óleo residual, o SCG apresentou melhor rendimento (13,6%) com propriedades físico-químicas favoráveis com a qualidade e possíveis aplicações. Com base nesses resultados, considerando a matriz energética e aproveitamento dos resíduos do beneficiamento do café, verificou-se um potencial de aproveitamento da mesma. Em particular, o óleo obtido da borra de café, com maior rendimento de óleo, pode ser usado para produzir óleos funcionais de valor agregado na indústria de alimentos.

Palavras-Chave: resíduos de café, óleo, aplicação industrial.

ABSTRACT

Coffee is one of the most frequently consumed drinks in the world and many by-product are produced during the coffee beans processing. This research aimed to analyze different residues from coffee, characterizing them as potential sources for the generation of value added products. For the

¹ Doutora em Biotecnologia Industrial, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – Campus São João do Piauí – IFPI-CASJP, danyelle.mota@ifpi.edu.br

² Graduada em Engenharia Civil, Universidade Tiradentes - UNIT, anna.96.rodrigues@hotmail.com

³ Doutora em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Sergipe – UFS - Campus Sertão, acenini.balieiro.ufs@gmail.com

⁴ Doutora em Química Analítica e Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, laiza_canielas@hotmail.com

⁵ Doutora em Engenharia Química, Universidade Tiradentes - UNIT, cleide18@yahoo.com.br

accomplishment of this study, the following residues were used: Coffee Silverskin coming from large industry (CSL), Silverskin coming from small industry (CSS), Spent Coffee Grounds (SCG), Defective coffee beans Arabica (DCBA) and Defective coffee beans Conilon (DCBC). The amounts of moisture, ash, fat, protein and carbohydrate were determined based on Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) standard methods. The Spent Coffee Grounds crude oil was characterization of physicochemical properties for possible applications. The average moisture, ash, fat, protein and carbohydrate contents of the biomass were between 4.9-72.6%, 0.3-10%, 1.9-13.6%, 11.6-16.8%. and 1.6-70.3% respectively. The result was similar and general to that found in the literature, and some variations may occur as the characteristics of coffee beans depend not only on cultivation but also on roasting, harvesting methods, seed processing and storage. Considering the use of residual oil, the SCG presented better yield (13.6%) with favourable physicochemical properties with the quality and possible applications. Based on these results, considering the energy matrix and utilization of the residues from coffee processing, it was verified a potential of use of the same. In particular, the oil obtained from spent coffee grounds, with higher oil yield, can be used to produce added-value functional oils in the food industry.

Keywords: residues from coffee, oil, industrial application.

INTRODUÇÃO

A conscientização ambiental global e a legislação rigorosa nos últimos anos concentraram a pesquisa em direção à biorrefinaria, através de processos para conversão da biomassa em compostos de alto valor agregado no enquadramento da bioeconomia circular, com benefícios econômicos, ambientais e sociais (BANU *et al.*, 2020). Contudo, a implementação e o desenvolvimento do processo de biorrefinaria depende principalmente das características dos resíduos, disponibilidade e interesse econômico do produto gerado.

A América Latina tem o maior potencial de produção de biomassa do mundo que atende ao setor alimentício e o Brasil se destaca como um gerador de resíduos a partir de biomassa, com destaque para as atividades agroindustriais, como a indústria do café (GALANAKIS, 2021; MATA, MARTINS E CAETANO, 2018). Neste contexto, uma refinaria biológica, do ponto de vista da sustentabilidade, é promissora na utilização de resíduos (MATA, MARTINS E CAETANO, 2018).

O café é uma das bebidas mais populares do mundo e uma das mercadorias mais importantes, proporcionando benefícios econômicos aos países produtores. A produção mundial de café estimada em 171,3 milhões de sacas contempla 98,6 milhões de café arábica (57,5%) e 72,7 milhões de sacas de café robusta (42,5%) no ano-cafeeiro 2022-2023 (ICO, 2023). Sendo que, o Brasil é o maior exportador de café do mercado mundial e ocupa a segunda posição entre os países consumidores da bebida (ABIC, 2019).

Conseqüentemente, diferentes subprodutos são gerados durante o processamento do café (cascas e mucilagens), na torrefação de café (silverskin do café) e na preparação de bebida

de café (borra de café) (ALVES *et al.*, 2017; SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2020; TARIGAN *et al.*, 2019). Aproximadamente para a obtenção de 120 toneladas de café torrado é produzida cerca de 1 tonelada de silverskin, já no processamento de 1 tonelada de grãos de café verde é gerado cerca de 650 kg de borra de café (ALVES *et al.*, 2017; GOH *et al.*, 2020).

A crescente conscientização ambiental despertou interesse no estudo dos resíduos agroalimentares gerados a partir do grão do café, como o grão defeituoso, a borra e/ou silverskin do café para identificar novas moléculas de interesse industrial, agregando assim valor a um resíduo agroindustrial (CHEN E JHOU, 2020; GALANAKIS, 2021; POZO, DEL *et al.*, 2020). Nesse contexto, as biorrefinarias têm se tornado uma estratégia no desenvolvimento de novos processos integrados para a conversão de subprodutos alimentares em produtos de valor agregado, fornecendo, assim, uma maneira viável de gerenciar problemas de resíduos, visando ao mesmo tempo gerar um crescimento econômico sustentável dentro de uma perspectiva de bioeconomia. Entretanto, antes do desenvolvimento de processos para conversão de biomassa, é importante conhecer todas suas características, como a centesimal.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo realizar a caracterização centesimal de subprodutos do processamento do café para possíveis aproveitamentos, como conversão do óleo residual em bioprodutos de valor agregado.

REFERENCIAL TEÓRICO

BIORREFINARIA E BIOMASSA

A biorrefinaria é um meio sustentável de gerar vários produtos comercializáveis (alimentos, rações para animais, materiais e produtos químicos) e energia (combustíveis, energia, calor) a partir de várias matérias-primas de biomassa através da incorporação de tecnologias de conversão relevantes, isso permite o processamento de materiais abundantes em produtos úteis com valor agregado (IEA, 2009; UBANDO *et al.*, 2020). O setor agroindustrial e os formuladores de políticas nas últimas décadas perceberam a necessidade de realizar um modelo de economia circular, reduzindo o impacto ambiental das atividades produtivas e os desafios do consumo sustentável (BANU *et al.*, 2020; MATA, MARTINS E CAETANO, 2018; UBANDO, FELIX E CHEN, 2020).

No contexto de biorrefinaria, os materiais lignocelulósicos são considerados viáveis e sustentáveis. A economia, gerada com a utilização da biomassa em suas diversas formas, pode ajudar a superar as dificuldades de uma indústria ecológica, uma vez que o valor econômico da biomassa específica é determinado pela receita derivada dos diferentes co-produtos valiosos nos mercados e pelos custos de produção (CORATO *et al.*, 2018; MATA *et al.*, 2018). Os

resíduos da agroindústria apresentam substâncias bioativas, como polifenóis, carboidratos, fibras e lipídios que podem ser aplicados em cosméticos, produtos farmacêuticos e setores de alimentos por processos biotecnológicos (BANU *et al.*, 2020; CORATO *et al.*, 2018; ZABANIOTOU e KAMATEROU, 2019).

Biomassa é um termo geral aplicável a todos os materiais derivados de animais e plantas. (SHERWOOD, 2020). Quanto à sua origem a biomassa é classificada em três categorias: (i) biomassa oriunda de vegetais não lenhosos, que podem ser divididos em sacarídeos (cana de açúcar, beterraba), celulósicos (capim elefante, gramíneas), amiláceos (milho, mandioca, batata-doce), aquáticos (algas, microalgas) e oleaginosas (óleo de soja, óleo de girassol, óleo de mamona); (ii) os vegetais lenhosos são aqueles que possuem madeira como tecido de suporte (eucalipto, acácia); Em seguida, tem-se os resíduos orgânicos, que podem ser agropecuários (dejetos de animais, palha), urbanos (lixo doméstico, lodo de esgoto) e agroindustriais (casca de arroz, serragem de madeira, silverskin do café, borra de café) (MME, 1982). Portanto, a biomassa apresenta-se como um recurso energético renovável fundamental, despontando entre as fontes de energia de menor custo.

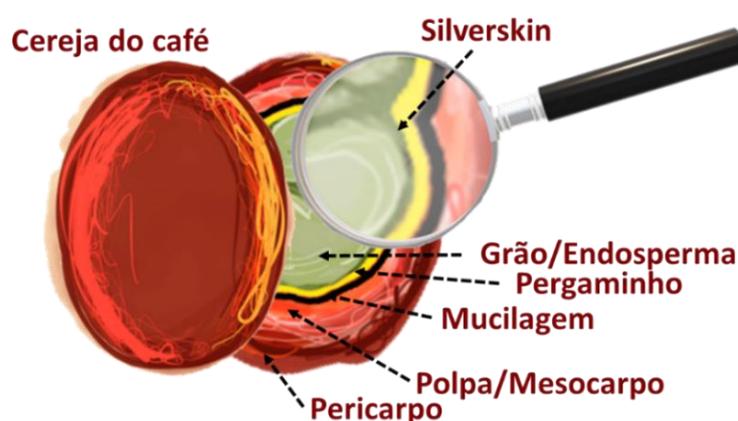
O Brasil se destaca como um grande gerador de resíduos lignocelulósicos a partir de atividades agrícolas, florestais e municipais, com destaque para a agroindústria que gera elevadas quantidade de resíduos, tais como bagaço de cana de açúcar (CARDOSO *et al.*, 2019), bagaço de azeitona (MOTA *et al.*, 2020) ou resíduos do processamento do café (MOTA *et al.*, 2020; POLIDORO *et al.*, 2018; SARASINI *et al.*, 2018), entre outros. E nos últimos anos tem ocorrido mais investimento em pesquisa e utilização mais eficiente dos resíduos agroindustriais, visando à conversão de biomassa lignocelulósica em bioprodutos de valor agregado (MOTA *et al.*, 2020). O bioprocessamento destes resíduos pode ajudar a mitigar os problemas ambientais a partir da biorrefinaria (BHATIA *et al.*, 2020; KUMAR *et al.*, 2020a; UBANDO *et al.*, 2020). Dentre as biomassas residuais com potencial energético, podem-se incluir os resíduos do processamento do café (GALANAKIS, 2021; MURTHY E NAIDU, 2012).

CULTURA DO CAFÉ: IMPORTÂNCIA E RESÍDUOS GERADOS NO PROCESSAMENTO

O cafeeiro pertence à família Rubiaceae (gênero *Coffea*) e abrange aproximadamente 80 espécies. As duas espécies vegetais mais importantes do comércio internacional de café são a *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre, amplamente conhecidas como Arábica e Robusta. *C. arabica* L., considerando as diferentes variedades e formas cultivadas, corresponde a cerca de 65% a 70% da produção mundial de café e a *C. canephora* Pierre representa cerca de 10% a 25% (ALVES *et al.*, 2017).

O fruto do café (baga ou cereja) é revestido por uma pele externa lisa e resistente (casca ou pericarpo), geralmente apresenta a coloração verde em frutos verdes, mas que se torna vermelho-violeta ou vermelho-escuro quando maduro. O pericarpo cobre a polpa macia amarelada, fibrosa e doce (mesocarpo). Esta é seguida por uma camada translúcida, incolor, fina, viscosa e altamente hidratada de mucilagem (também chamada de camada de pectina). Em seguida, há um fino endocarpo de cor amarelada, também chamado de pergaminho. Finalmente, a pele prateada ou silverskin (SC) cobre cada hemisfério do grão de café (endosperma) (ESQUIVEL E JIMÉNEZ, 2012). A constituição do grão de café é ilustrada na Figura 01.

Figura 01: Composição Centesimal das Biomassa.



Fonte: Autor (2023).

O café é uma das bebidas mais consumidas e o segundo maior produto comercializado depois do petróleo no mundo. A produção anual de café aumentou, atingindo 9,54 milhões de toneladas em todo o mundo em 2017. As exportações de café em grão aumentaram 9,2% para 120,28 milhões de sacas entre 2018 e 2019, em comparação com 110,16 milhões de sacas no mesmo período em 2017-2018 (ICO, 2019).

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mercado mundial e ocupa a segunda posição entre os países consumidores da bebida (ABIC, 2019). De modo geral, foram obtidas aproximadamente 49,31 milhões de sacas beneficiadas em 2019 (CONAB, 2019). A produção de café, em nível mundial, estimada para o ano-cafeeiro 2022-2023, atingirá um volume físico equivalente a 171,3 milhões de sacas de 60kg. Em relação ao consumo, no mesmo período em destaque, também em nível global, as projeções indicam que o planeta demandará o correspondente a 178,5 milhões de sacas de 60kg, consumo que, caso se confirme, representará um modesto crescimento de 1,7% em relação ao do ano-cafeeiro 2022-2023 (ICO, 2023).

O aumento do consumo de café no mundo ao longo dos anos é diretamente relacionado ao aumento dos subprodutos do processamento de café que incluem aqueles derivados da etapa

pós-colheita, torrefação e consumo de café, a saber, grãos imaturos/defeituosos, cascas, pele e polpa, pergaminho, silverskin e borra do café. De acordo com as condições locais do país produtor, o processamento do café pode ser realizado por diferentes métodos: seco, úmido, semi-úmido e mecânico (ALVES *et al.*, 2017).

O método de processamento a seco é usado para a maioria dos cafés brasileiros. Em geral, nessa técnica não há separação de grãos maduros e o processo de secagem pode ser realizado sob o sol ou em secadores mecânicos. Durante esse processo, os grãos de café se soltam do pergaminho (endocarpo) e ocorre a remoção da casca, polpa e pergaminho. Já no método úmido ocorre o despulpamento do fruto, seguido de fermentação. É necessária uma seleção, geralmente com colheita manual ou com máquinas, que permita a separação dos grãos maduros. A fase de despulpagem remove o epicarpo e o mesocarpo do fruto. No final da despulpagem, a semente ainda está envolvida no endocarpo. A mucilagem que reveste o endocarpo facilita a despulpagem e protege os grãos (ALVES *et al.*, 2017).

O processo "semi-úmido" ou "semi-lavado" é combinação dos métodos seco e úmido. Esse método consiste em lavar e selecionar os frutos nos tanques de flotação, seguido da despulpagem, mas excluindo a etapa de fermentação. O café despulpado, que contém os restos de mucilagem, pode ser seco diretamente. Além disso, nos últimos anos, a eliminação da mucilagem por atrito (ação mecânica) com máquinas e equipamentos adequados, em vez de água, vem ganhando adeptos. Essas máquinas recebem diretamente os frutos da lavagem e, em seguida é retirada a polpa, a mucilagem e pergaminho, após o grão do café está pronto para ser seco e processado. Conforme mencionado anteriormente, ao longo de todos esses tipos de processamento, vários subprodutos são gerados. Cada 100 kg de frutos maduros correspondem a 39 kg de polpa, 22 kg de mucilagem e 39 kg de pergaminho do café (ALVES *et al.*, 2017).

Os diferentes subprodutos produzidos durante o processamento do café (cascas e mucilagens), torrefação de café (silverskin do café) ou na preparação de bebida de café (borra de café) (ALVES *et al.*, 2017; SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2020; TARIGAN *et al.*, 2019) podem ser uma grande fonte de compostos bioativos. Sua valorização e uso podem ser de interesse para diferentes indústrias e campos, como alimentos, produtos farmacêuticos ou cosméticos (GALANAKIS, 2021). O número de produtos comerciais à base de subprodutos do processamento do café aumentou nos últimos anos, com o objetivo de alcançar uma produção e consumo sustentáveis. Além disso, o crescente número de artigos com possíveis aplicações e patentes que reivindicam soluções para sua extração e implementação em vários alimentos, aplicações medicinais e agrícolas, revela seu potencial futuro promissor para esses fins.

Diante do exposto, os resíduos do processamento do café apresentam um grande potencial como fontes de compostos de interesse industrial. Para prevenir e controlar impactos causados ao meio ambiente e à saúde humana, várias tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos são utilizadas. A escolha de uma tecnologia deve ser feita de maneira criteriosa, levando-se em consideração o tipo de resíduo a ser tratado, a segurança do processo, a minimização de impactos ambientais e a valorização dos resíduos por meio da reciclagem, reutilização ou aproveitamento de subprodutos. Logo, para que ocorra um aproveitamento adequado de tais resíduos é importante a caracterizações dos mesmos, como a composição centesimal.

METODOLOGIA

MATERIAIS

As biomassas usadas no presente estudo foram fornecidas por indústrias e centro comercial do estado de Sergipe. A borra do café foi oriunda de um centro comercial após preparo do café por infusão do pó do grão torrado. Um dos silverskin e os grãos defeituosos de café Arábica e Robusta foram fornecidos por uma indústria de grande porte. Enquanto outra amostra de silverskin foi cedida por uma indústria de pequeno porte. As biomassas foram transportadas para os laboratórios do Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP), mantidas em estufa a 60 ± 2 °C e, após a secagem, foram armazenadas em local fresco e seco, protegido da luz. Os reagentes utilizados nos experimentos foram de padrão analítico.

GRANULOMETRIA

A granulometria das biomassas (grãos defeituosos e silverskin do café) foi determinada com um conjunto de peneiras de 32, 16 e 9 mesh com tamisação a seco. As peneiras foram padronizadas para encaixarem umas nas outras, formando uma coluna de peneiração, com agitação manual e sem compressão. Na base encaixou-se uma peneira destinada a receber as partículas menores que atravessaram toda a coluna sem serem retidos em nenhuma das peneiras. Foram utilizadas nos experimentos as partículas entre 9 e 32 mesh.

DETERMINAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DAS BIOMASSAS

As determinações da composição centesimal (umidade, cinzas, lipídios, proteínas e carboidratos) foram realizadas em triplicata nas biomassas seguintes: grãos defeituosos arábica (GDA), grãos defeituosos conilon (GDC), silverskin do café oriundos de indústria de grande porte (SCG), silverskin do café foi oriundo de indústria de pequeno porte (SCP) e borra do café (BC).

Umidade

A umidade foi determinada por secagem em estufa ($105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$), baseado na remoção da água por aquecimento. As amostras em triplicata foram colocadas em cadinhos, com massas previamente determinadas (3g), ficando em estufa até a secagem. Os cadinhos contendo as amostras foram, então, resfriados à temperatura ambiente, em dessecador, tendo sua massa novamente determinada. Logo após, os cadinhos retornaram à estufa e este procedimento foi repetido até a obtenção de massa constante. Foi calculada, então, a porcentagem de umidade nas amostras de biomassas (AOAC, 1990).

Cinzas

A determinação de cinzas foi realizada por incineração em mufla, no qual toda a matéria orgânica foi queimada. Cada amostra de silverskin foi colocada em um cadinho de porcelana, com massa previamente estabelecida (3 g) e permaneceu na mufla ($550\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$) até total queima da matéria orgânica. A diferença entre a massa da amostra mais cadinho e a massa do cadinho forneceu a massa das cinzas da amostra (AOAC, 1990).

Lipídios

As amostras de biomassas foram secas a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ e a partir do aparelho Soxhlet realizou-se a extração de lipídios através da contínua passagem de um solvente. Foram colocadas 5 g de amostra seca em cartuchos feito de papel filtro no extrator Soxhlet, onde permaneceu em refluxo por 8h com 180 mL do solvente hexano (faixa de ebulição $40\text{--}68\text{ }^{\circ}\text{C}$). Após a retirada do óleo as amostras foram colocadas na estufa ($60\text{ }^{\circ}\text{C}$) para evaporação do solvente até peso constante e foi calculado o rendimento (AOAC, 1990).

Proteínas

A determinação de proteínas foi realizada pelo método de Kjeldahl, no qual avaliou-se o teor de nitrogênio total de origem orgânica, utilizando-se aproximadamente 0,2 g de amostra em tubo para digestão. O procedimento do método baseou-se na digestão da amostra com ácido sulfúrico e mistura catalisadora contendo sulfato de cobre e sulfato de potássio para acelerar a reação. Assim, todo o carbono e hidrogênio foram oxidados a gás carbônico e água. O nitrogênio da proteína foi reduzido e transformado em sulfato de amônio. Destilou-se a amostra digerida em meio básico por adição de hidróxido de sódio 40%, para a liberação da amônia. A amônia foi recolhida em solução de ácido bórico, formando borato de amônio. O borato de amônio formado foi quantificado por titulação com ácido clorídrico padronizado com carbonato de sódio. Utilizou-se o fator de conversão de 6,25 para as biomassas em estudo (AOAC, 1990).

Carboidratos

O conteúdo de carboidratos foi determinado por diferença: calculou-se a média da porcentagem de água, proteínas, lipídeos e cinzas e o restante foi considerado carboidrato (AOAC, 1990).

EXTRAÇÃO DO ÓLEO

A extração do óleo com Soxhlet foi realizada com a biomassa que apresentou maior rendimento. Utilizou 20 g de amostra da biomassa seca e 150 mL de hexano por 8 h. A separação do óleo e solvente foi feita por rotaevaporação para posterior caracterização por GC/qMS (AOAC, 1990).

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO ÓLEO

A qualidade dos óleos foi monitorada através da determinação dos parâmetros apresentados nos itens a seguir em triplicata.

Umidade

A umidade dos óleos extraídos foi calculada de acordo com a metodologia apresentada para biomassa.

Índice de acidez

O método de determinação da acidez avaliou a acidez titulável. Pesou-se 2 g de óleo em Erlenmeyer de 250 mL e adicionado 25 mL de solução de éter etílico e etanol (2:1). Adicionou-se 2 gotas da solução de fenolftaleína e titulou com solução de hidróxido de sódio (NaOH) a 0,1 N, até ponto de viragem (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2008).

Índice de saponificação

O índice de saponificação foi determinado pela quantidade de base necessária para saponificar uma quantidade definida de amostra. Pesou-se 2 g de amostra e adicionou-se 20 mL da solução de hidróxido de potássio (KOH) a 4%. Conectou-se o condensador deixando ferver suavemente até a completa saponificação da amostra (30 min \pm 70 °C). Após o resfriamento do frasco, adicionou-se 2 gotas de fenolftaleína e titulou-se com a solução de ácido clorídrico (HCl) a 0,5 M até o desaparecimento da cor rósea (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2008).

Índice de iodo

O índice de iodo de um óleo ou gordura é a medida do seu grau de insaturação e foi expresso em termos do número de centigramas de iodo absorvido por grama da amostra (%)

iodo absorvido). Pesou-se aproximadamente 0,25 g do óleo em frasco Erlenmeyer de 250 mL com tampa e adicionou-se 10 mL de tetracloreto de carbono e 20 mL de solução de Wijs. Em seguida agitou-se cuidadosamente com movimento de rotação, assegurando homogeneização e deixando-o em repouso ao abrigo da luz e a temperatura ambiente, por 30 minutos. Após foi adicionado 10 mL da solução de iodeto de potássio (KI) a 15% e 100 mL de água recentemente fervida e fria. Foi realizada a titulação com solução de tiosulfato de sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) 0,1 N até o aparecimento de uma leve coloração amarela. Em seguida foi adicionado 1 a 2 mL de solução indicadora de amido 1% tornando a solução azulada e permanecendo a titulação até o completo desaparecimento da cor azul (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2008).

Índice de peróxido

Este método determinou todas as substâncias, que oxidam o iodeto de potássio nas condições do teste, em termos de miliequivalentes de peróxido por 1000 g de amostra. Pesou-se 5 g do óleo em Erlenmeyer de 250 mL. Após adicionou-se 30 mL da solução de ácido acético e clorofórmio (3:2) até a dissolução da amostra. Acrescentou 0,5 mL da solução de iodeto de potássio (KI) saturada e deixando em repouso por um minuto. Adicionou-se 30 mL de água ultrapura e titulou-se com solução tiosulfato de sódio a 0,01 N, com constante agitação até o desaparecimento da coloração amarela. Adicionou-se 1 mL de solução de amido indicadora titulando-se até o completo desaparecimento da coloração azul (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2008).

Índice de refração

A medida de índice de refração foi analisada em um refratômetro de Abbe, que foi ajustado com água a temperatura ambiente e com índice de refração conhecido de 1,333 a 20 °C. As análises foram realizadas em triplicata (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2008).

Viscosidade e densidade

A densidade (kg/m^3) e a viscosidade cinemática (mm^2/s a 40 °C) das amostras foram determinadas utilizando o viscosímetro StaBinger (Anton Paar: modelo SVM 3000).

Determinação da extinção específica por absorção na região do ultravioleta.

Na avaliação do coeficiente de extinção específica pesou-se 0,1 g de óleo em balão volumétrico de 10 mL e completou-se o balão com isooctano, e realizou-se a leitura da absorbância nos comprimentos de onda de 232 e 270 nm (Instituto Adolfo Lutz-IAL, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição centesimal obtida para as amostras de silverskin, borra e grão defeituosos é apresentada na Tabela 01. O teor de umidade da borra foi de 72,6%, enquanto no silverskin foi inferior, variando entre 8,8-10% entre as duas variantes. Quando os dados da Tabela 01 são convertidos em valores de peso seco (p.s.), a composição das biomassas pode ser melhor comparada. O silverskin (das duas indústrias: SCP e SCG) e grãos defeituosos são mais ricos em carboidratos, enquanto o BC é mais rico em proteínas e óleos. De fato, o conteúdo proteico, por exemplo, de SCG e BC é de 17,1 e 42,3% (p.s.), respectivamente; o conteúdo de carboidratos no SCG é de 65,7% e de apenas 5,8% no BC, enquanto o conteúdo de gordura no SCG e no BC é de 4,2 e 50,4%, respectivamente. A composição centesimal pode variar de acordo com o tipo de biomassa (nesse caso específico do cafeeiro), local de cultivo, idade do cafeeiro, clima do local, condições do solo, técnica de processamento do fruto e a forma de torrefação (JENKINS *et al.*, 2014; KOVALCIK, OBRUCA E MAROVA, 2018).

Tabela 01: Composição Centesimal das Biomassas de diferentes biomassas oriundas do processamento do café.

Biomassa	Umidade (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Proteínas (%)	Carboidratos (%)
SCP	8,8 ± 0,2	6,7 ± 0,2	3,5 ± 0,9	16 ± 1,2	64,9 ± 0,3
SCG	10 ± 0,9	9,9 ± 3,2	3,9 ± 0,2	15,7 ± 0,9	60,3 ± 4
BC	72,6 ± 0,4	0,3 ± 0,2	13,6 ± 1,1	11,6 ± 2	1,6 ± 0,7
GDA	5,8 ± 0,2	7,2 ± 1,9	2,8 ± 0,4	15,8 ± 0,8	68,3 ± 1,7
GDC	4,9 ± 1,2	6 ± 2,7	1,9 ± 0,1	16,8 ± 0,6	70,3 ± 1,9

Fonte: Autor (2023).

A borra do café apresentou maior umidade que o silverskin e grãos defeituosos, sendo que o SC durante o processo de torrefação diminuiu a umidade. O silverskin, comparado a outros subprodutos do café, é um produto relativamente estável devido ao seu menor teor de umidade. A borra normalmente contém umidade variando entre 50 a 85%, dependendo do processo de fermentação usado, principalmente a BC da indústria de café instantâneo (EFTHYMIPOULOS *et al.*, 2019; TARIGAN *et al.*, 2019). O tempo de torra e a severidade da torrefação resultam na perda de peso dos grãos de café e influenciam no teor de umidade nos produtos finais como o silverskin (CONTI; PRUDENCIO, 2015).

O SC ou BC úmido favorece o desenvolvimento de fungos e bactérias, bem como possibilita a atividade hidrolítica de diversas enzimas presentes nas células vegetais, levando à degradação dos princípios ativos. Assim, o processo de secagem permite a conservação da biomassa e favorece o processo de extração, ou seja, aumentou a eficiência de extração,

aumentando também o rendimento do óleo. Entretanto, no processo de secagem a temperatura é uma variável importante, podendo afetar as propriedades do óleo (CRUZ *et al.*, 2012).

O teor de cinzas variou entre SCG (9,9%) e BC (0,4%). Estudos realizados por Martinez-Saez *et al.*, (2017) e Mussatto *et al.*, (2011) mostraram um menor teor de cinzas nas borras com 0,5% e 1,6%, respectivamente, e sugeriram que as condições de processamento do grão e a extração industrial de café resultam em uma enorme perda de minerais e cinzas. Os grãos de café torrados geralmente apresentam cerca de 4,6% do total de minerais, facilmente extraídos por água quente, levando a quantidades totais reduzidas em resíduos de café solúvel (0,25-1,6%) (CRUZ *et al.*, 2012). Ballesteros *et al.* (2014) relataram um nível mais alto de cinzas no SC (5,36%) do que na BC (1,30%), contendo principalmente potássio, cálcio e magnésio, diferenças que podem estar relacionadas as espécies e origens do café. Os minerais mais importantes presentes no SC e BC são considerados micronutrientes essenciais para a saúde humana (BALLESTEROS, TEIXEIRA E MUSSATTO, 2014).

O teor de lipídio do SC, de acordo com Bessada *et al.* (2018), pode variar de 1,6% a 3,3% no silverskin, com os triacilglicerídeos sendo os principais componentes (48%), seguidos pelos ácidos graxos livres (21%), esteróis esterificados (15%), esteróis livres (13%) e diacilglicerídeos (4%). Os lipídios, durante a torração, atuam como peneira seletiva na retenção das substâncias aromáticas do grão, melhorando a qualidade do produto. Os cafés com maiores teores de lipídios podem apresentar os melhores sabores (RAMALAKSHMI *et al.*, 2007).

O conteúdo lipídico da BC depende do método de fermentação e extração (KOVALCIK, OBRUCA E MAROVA, 2018). Os valores são muito semelhantes quando comparados com as quantidades lipídicas descritas na literatura para BC (CRUZ *et al.*, 2012), mesmo da BC industrial oriundo da produção do café solúvel, com teores entre os 10-15,% (SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2020). Esses dados sustentam que, apesar das altas temperaturas e pressões usadas durante extrações industriais, os lipídios são retidos principalmente na borra após o processamento do grão. Mas todos os SC e BC devem ser secos o mais rápido possível, com o objetivo de evitar a hidrólise lipídica que possa reduzir a eficiência de aplicação desses lipídios em processos de biotransformações (CRUZ *et al.*, 2012).

O conteúdo de proteína apresentou diferença significativa quando comparado em peso seco. As proteínas dão origem a vários compostos voláteis e não voláteis responsáveis pelo sabor e aroma do café torrado (RAMALAKSHMI, KUBRA e RAO, 2007). O conteúdo de proteína na BC excede a quantidade presente no grão de café devido à concentração de componentes não extraídos durante a preparação da bebida instantânea (MARTINEZ-SAEZ *et al.*, 2017). A concentração de proteínas, principalmente no SC, oferece a possibilidade de usar

esse subproduto na ração em indústria alimentícia para animais. As proteínas dessas biomassas são uma fonte de aminoácidos essenciais e não essenciais, como leucina, fenilalanina, valina, isoleucina, arginina, cisteína, glutamina, histidina, ácido aspártico, lisina, fenilalanina, serina e treonina (MARTINEZ-SAEZ *et al.*, 2017; SALAZAR-LÓPEZ *et al.*, 2020).

O teor de carboidratos foi maior na amostra de silverskin e grãos defeituosos. A BC apresentou valores baixos de carboidratos devido a sua extração durante a torrefação do café e a preparação da bebida com água quente pressurizada (CAMPOS-VEGA *et al.*, 2015). Os carboidratos do café têm importante função no momento da torra dos grãos, devido aos mesmos participarem da reação de Maillard, conferindo aroma, sabor e cor para o café (SILVA *et al.*, 2008).

O total de carboidratos das amostras de SC estudadas por Alhooneh *et al.* (2017) e Behrouzian *et al.*, (2016) foi de aproximadamente 72% e consistiu em $64,2 \pm 0,3\%$ de fibra alimentar insolúvel e $7,6 \pm 0,7\%$ da solúvel. O maior conteúdo de fibra alimentar insolúvel nas amostras é justificável uma vez que celulose, hemicelulose e lignina fazem parte da sua composição. Os dados da composição indicaram que os dois silverskins e os grãos defeituosos podem ser considerados como uma potente fonte de fibra alimentar insolúvel, especialmente de celulose.

A borra apresentou maior concentração em óleo residual, o qual foi selecionado para analisar as propriedades físico-químicas. Tais características do óleo vegetal podem interferir na qualidade do produto e comprometer o objetivo do uso do mesmo, portanto caracterizar o óleo é o passo inicial para determinar suas qualidades e uso. A Tabela 02 mostra os resultados das caracterizações físico-químicas do óleo da borra do café extraído por Soxhlet.

Efeitos de diferentes solventes de extração (polares e não polares) podem alterar no rendimento dos óleos extraídos, mas também nas propriedades químicas e físicas, incluindo conteúdo de ácidos graxos livres, acidez, valor de saponificação, densidade ou viscosidade. A distribuição de ácidos graxos pode interferir nas propriedades físicas e químicas do óleo, por isso foi importante a caracterização dos FAME (AL-HAMAMRE *et al.*, 2012).

Tabela 02: Propriedades físico-químicas do óleo da borra do café.

PROPRIEDADES	ÓLEO DA BORRA
Umidade (%)	$0,5 \pm 0,2$

Índice de acidez (mg _{KOH} /gamostra)	9,2 ± 0,3
Ácido graxo livre (%)	4,6 ± 0,3
Índice de Saponificação (mg _{KOH} /kgóleo)	134,3 ± 9,9
Índice de iodo (gI/100 góleo)	65,1 ± 0,3
Índice de Peróxido (meqO ₂ /kgóleo)	5,1 ± 0,2
K ₂₃₂	0,185 ± 0,003
K ₂₇₀	0,229 ± 0,005
Índice de Refração	1,43 ± 0,003
Viscosidade cinemática (mm ² /s 40 °C)	45,3
Densidade (g/cm ³)	0,9316

A umidade dos óleos borra (0,5%) obtida nesse estudo foi considerada viável, podendo a mesma estar relacionada com a estocagem da biomassa. A determinação da umidade do óleo é importante, pois a água favorece o crescimento de microorganismos e degradação do produto, como também um maior teor de umidade trará prejuízos devido a ação das lipases, aumentando a acidez do óleo e produzindo a rancidez oxidativa do mesmo. Além disso, o teor de umidade afeta reações de transesterificação ou acidólise. Caetano et al. (2017) encontraram 0,15% de umidade do óleo extraído da borra do café para produção de biodiesel.

Os valores de acidez e saponificação foram parâmetros importantes, considerando o teor de ácidos graxos no óleo extraído. O valor de índice de acidez do óleo de BC foi de 9,2 mg de KOH/g de óleo e 4,6% de ácidos graxos livres, respectivamente. O valor da acidez reflete a quantidade de ácidos graxos livres (AGL), ou seja, não ligados a espinha dorsal do glicerol (AL-HAMAMRE *et al.*, 2012). O teor de AGL tem uma grande influência na qualidade do óleo e altas concentrações no óleo aumenta sua suscetibilidade à oxidação. Haile (2014) e Jalkh et al. (2018) identificaram acidez similar (9,85 e 10,9 mg de KOH/g de óleo, respectivamente) em estudo com óleo da borra do café.

Em relação ao índice de saponificação, o resultado obtido de 134,3 mg KOH/g de óleo (BC) encontra-se um pouco abaixo do intervalo esperado para oleaginosas vegetais saponificáveis de acordo com limites determinados pela ANVISA (180-200 mg KOH/g óleo). Um índice de saponificação acima do permitido pela legislação indica uma presença indevida

de TAG de cadeia curta, enquanto valores abaixo do permitido indicam presença de TAG de cadeia longa. O valor de saponificação indica a quantidade relativa de ácidos graxos de alto e baixo peso. Os níveis relativamente baixos de matéria saponificada fazem com que o óleo permaneça viscoso e não congele facilmente, tornando-se adequado para aplicações em transformações de óleos (AL-HAMAMRE *et al.*, 2012). Araújo *et al.* (2019) apresentaram valores de saponificação semelhantes em óleo da borra do café para os diferentes solventes (dióxido de carbono, etanol, hexano) e extrações (Soxhlet e extração supercrítica), variando entre 194,75 e 197,12 mg KOH/g de óleo. Entre os solventes analisados, o menor valor de saponificação foi obtido com hexano em Soxhlet (194,75 mg KOH/g de óleo). Valores de 173,9 mg KOH/g de óleo e 183,0 mg KOH/g de óleo da borra foram obtidos por Al-Hamamre *et al.* (2012) usando hexano e etanol em Soxhlet, respectivamente.

O índice de iodo foi responsável por expressar o grau de insaturação do óleo através da quebra das duplas ligações para em seguida o iodo ser inserido, onde quanto maior o grau de insaturação maior será a capacidade de absorção de iodo e, conseqüentemente, maior será o índice de iodo. Os resultados encontrados para o óleo de BC foram de 65,1 g I₂/100 g de óleo. Najdanovic-Visak *et al.* (2017), Haile (2014) e Jalkh *et al.* (2018) observaram valores de iodo de 79, 83,7 e 95g I₂/100 g de óleo BC extraído com hexano em Soxhlet. Os óleos com baixo teor de iodo são de grande interesse para uso em dietas humanas e nas indústrias alimentícia, cosmética e farmacêutica (NAJDANOVIC-VISAK *et al.*, 2017).

O índice de peróxido, assim como o de acidez, foi utilizado para a medida do estado de oxidação do óleo. Os peróxidos são produtos formados a partir da oxidação de óleos e gorduras devido à ação do oxigênio. Segundo a Instrução Normativa (BRASIL, 2012) o índice de peróxido de óleos não refinados deve ser inferior à 15 meqO₂/kg, deste modo o óleo da borra apresentou um valor adequado (5,1 meqO₂/kg óleo). O valor do peróxido baixo significa que pode ser armazenado por mais tempo (HAILE, 2014). Jalkh *et al.* (2018) identificaram o óleo da borra do café como menos oxidado (6,73 meqO₂/kg óleo) do que o óleo de cozinha usado (64,47 meqO₂/kg óleo). O óleo de cozinha usado geralmente é exposto a níveis mais altos de oxidação causada principalmente pelo contato com o ar (auto-oxidação) e a água dos alimentos (oxidação hidrolítica).

Os baixos valores de K₂₃₂ (0,185) e K₂₇₀ (0,229), para óleo de BC, relacionados ao conteúdo de hidroperóxidos e produtos de oxidação secundária, indicam no geral uma baixa extensão da oxidação, principalmente no óleo BC. Os limites estabelecidos no Brasil (2012) na análise de qualidade do óleo do bagaço de oliva é K₂₇₀ ≤ 1,70, enquanto o parâmetro K₂₃₂ usa como padrão o o azeite de oliva virgem com K₂₃₂ ≤ 2,6. Compostos de oxidação dos dienos

conjugados contribuíram para K_{232} (nível de oxidação) enquanto compostos de oxidação secundária (aldeídos, cetonas, etc.) contribuíram para K_{270} (processamento).

O valor do índice de refração aumenta mede o grau de saturação dos óleos e gorduras através da relação entre velocidade da luz na substância analisada. Cada tipo de óleo possui um índice de refração o qual está relacionado ao grau de insaturação das ligações, presença de compostos de oxidação e tratamento térmico pelo qual passou. A análise realizada obteve como resultado do índice de refração a 25 °C o valor de 1,43 (borra do café). Podemos correlacionar com o valor do índice de iodo, quanto maior o índice de iodo, maior foi o índice de refração do óleo.

A viscosidade na amostra dos óleos de BC foi de 45,3 mm²/s. O aumento da temperatura faz diminuir a viscosidade do óleo. A temperatura é um parâmetro relacionado com a energia interna de uma substância. Com o seu aumento, a força de atração entre as moléculas diminui, tornando o líquido menos viscoso. Goh et al. (2020) determinaram a viscosidade do óleo de BC com $46,8 \pm 0,2$ mm²/s, mas a mesma foi reduzida para $4,16 \pm 0,2$ mm²/s após a transesterificação, como resultado da remoção do glicerol. Haile (2014) caracterizou o óleo da borra do café com 42,65 mm²/s de viscosidade e considerou um valor muito alto para o óleo ser usado em motores de combustão direta, logo teria que passar por um pré-tratamento.

A densidade encontrada para o óleo foi de 0,9316 g/cm³. Os óleos vegetais têm a maior parte de sua composição formada por triacilglicerídeos, para esses, a densidade é menor quanto menor for sua massa molecular e mais alto seu grau de insaturação, em se tratando de óleos vegetais com grande quantidade de ácidos graxos insaturados. Logo, a amostra de óleo da borra do café apresentou um acréscimo na densidade provavelmente porque esse óleo apresenta maior concentração de ácidos graxos insaturados. Haile (2014) identificou alta densidade em óleo da borra (0,917 g/cm³), portanto não pode ser usado diretamente como combustível, uma vez que essa alta densidade polimerizaria e levaria à formação de depósitos no motor do carro.

Diante dos resultados, o óleo poderia ser aproveitado para síntese de lipídios estruturados (LE). A formulação de alimentos para a saúde, ou seja, alimentos funcionais, com componentes fisiologicamente ativos para fornecer um benefício à saúde além da nutrição, melhorando a saúde física e mental e o bem-estar, é uma das principais tendências da indústria de alimentos. No campo de óleos e gorduras, esses novos produtos são chamados de lipídios estruturados (AKOH, 2017; FERREIRA-DIAS et al., 2019; KIM; AKOH, 2015). Os LE são lipídios modificados (ou gorduras e óleos) que não existem na natureza, mas apresentam melhores propriedades funcionais e/ou farmacêuticas. Muitos estudos recentes produziram LE

a partir de diversos tipos de óleo vegetal ou animal como fonte de triacilglicerídeos: canola, peixe, abacate, bagaço de azeitona ou borra do café.

CONCLUSÕES

A partir destes resultados pode-se inferir que a borra de café possui elevado teor lipídico, com propriedade físico-químicas favoráveis, para aproveitamento a partir de processos integrados para a conversão de subprodutos alimentares em produtos de valor agregado como lipídios estruturados. Por fim, esses resultados expõem a importância e abrem horizontes promissores para estudos associados ao processamento do café, com conversão de subprodutos alimentares em produtos de valor agregado, diminuindo o impacto ambiental e melhorando as receitas das indústrias de café.

REFERÊNCIAS

- AKOH, C. C.; KIM, B. H. Structured Lipids. *In: Food lipids : chemistry, nutrition, and biotechnology*. Fourth ed. [s.l.: s.n.]. p. 941–966.
- AL-HAMAMRE, Z. *et al.* Oil extracted from spent coffee grounds as a renewable source for fatty acid methyl ester manufacturing. **Fuel**, v. 96, n. x, p. 70–76, 2012.
- ALGHOONEH, A. *et al.* Characterisation of cellulose from coffee silverskin. **International Journal of Food Properties**, v. 10, p. 2830–2843, 2017.
- ALVES, R. C. *et al.* State of the Art in Coffee Processing By-Products. *In: Handbook of Coffee Processing By-Products Sustainable*. Academic P ed. [s.l.] Nikki Levy, 2017. p. 1–22.
- AOAC. Official Methods of Analysis. **Association of Official Agricultural Chemists**, v. 1, n. Volume 1, 1990.
- ARAÚJO, M. N. *et al.* Enhanced extraction of spent coffee grounds oil using high-pressure CO₂ plus ethanol solvents. **Industrial Crops and Products**, v. 141, n. August, p. 111723, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ-ABIC. **Consumo mundial de café atinge 165 milhões de sacas no ano cafeeiro 2018-2019 - Portal Embrapa**. Disponível em: <<http://abic.com.br/>>. Acesso em: 6 jul. 2020.
- BALLESTEROS, L. F.; TEIXEIRA, J. A.; MUSSATTO, S. I. Chemical , Functional , and Structural Properties of Spent Coffee Grounds and Coffee Silverskin. **Food Bioprocess Technol**, v. 7, p. 3493–3503, 2014.
- BANU, J. R. *et al.* Biorefinery of spent coffee grounds waste: Viable pathway towards circular bioeconomy. **Bioresource Technology**, v. 302, p. 122821, 2020.
- BEHROUZIAN, F. *et al.* Characterization of dietary fiber from coffee silverskin: An optimization study using response surface methodology. **Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre**, v. 8, n. 2, p. 58–64, 2016.
- BESSADA, S. M. F.; ALVES, R. C.; OLIVEIRA, M. B. P. P. Coffee Silverskin : A Review on Potential Cosmetic Applications. **Cosmetics**, v. 5, p. 1–11, 2018.
- BHATIA, S. K. *et al.* Recent developments in pretreatment technologies on lignocellulosic biomass: Effect of key parameters, technological improvements, and challenges. **Bioresource Technology**, v.

300, p. 122724, 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. **Regulamento Técnico do Azeite de Oliva e do Óleo de Bagaço de Oliva. In Diário Oficial da União, Brasília**, 2012.

CAETANO, N. S.; MATA, D. C. A. A. M. T. M. Valorisation of Spent Coffee Grounds : Production of Biodiesel via Enzymatic Catalysis with Ethanol and a Co-solvent. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 6, p. 1981–1994, 2017.

CAMPOS-VEGA, R. *et al.* Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects. **Trends in Food Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 24–36, 2015.

CARDOSO, A. R. T. *et al.* Chemical characterization of the bio-oil obtained by catalytic pyrolysis of sugarcane bagasse (industrial waste) from the species *Erianthus Arundinaceus*. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 7, n. 2, p. 102970, 2019.

CHEN, Y. C.; JHOU, S. Y. Integrating spent coffee grounds and silver skin as biofuels using torrefaction. **Renewable Energy**, v. 148, p. 275–283, 2020.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos 2012/2013**, 2019.

CONTI, M. C. M. D. DE; PRUDENCIO, S. H. CATEGORIAS BRASILEIRAS COMERCIAIS. p. 77–92, 2015.

CORATO, U. DE *et al.* Assessing the main opportunities of integrated biorefining from agro-bioenergy co / by-products and agroindustrial residues into high-value added products associated to some emerging markets : A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 88, n. February, p. 326–346, 2018.

CRUZ, R. *et al.* Espresso coffee residues: A valuable source of unextracted compounds. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 32, p. 7777–7784, 2012.

EFTHYMIPOULOS, I. *et al.* Effect of Solvent Extraction Parameters on the Recovery of Oil From Spent Coffee Grounds for Biofuel Production. **Waste and Biomass Valorization**, v. 10, n. 2, p. 253–264, 2019.

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

FERREIRA-DIAS, S. *et al.* Structured Lipids for Foods. In: MELTON, L.; SHAHIDI, F.; VARELIS, P. (Eds.). **Encyclopedia of Food Chemistry**. 1st editio ed. [s.l.] Elsevier, 2019. v. 3p. 357–369.

GALANAKIS, C. Food waste valorization opportunities for different food industries. In: **The Interaction of Food Industry and Environment**. [s.l.] Elsevier Inc., 2021. p. 341–422.

GOH, B. H. H. *et al.* Ultrasonic assisted oil extraction and biodiesel synthesis of Spent Coffee Ground. **Fuel**, v. 261, n. February 2019, p. 116121, 2020.

HAILE, M. Integrated valorization of spent coffee grounds to biofuels. **Biofuel Research Journal**, v. 2, p. 65–69, 2014.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ-IAL. **Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos**. Instituto Adolfo Lutz (São Paulo): [s.n.].

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION-ICO. **Development Report**. Disponível em: <<http://www.ico.org/>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

International Coffee Organization - ICO. Disponível em: <<http://www.ico.org/prices/pr-prices.pdf>>.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY - IEA. **Biorefineries: adding value to the sustainable**

utilisation of biomass. [s.l: s.n.].

JALKH, R. *et al.* Assessment of the Physico-Chemical Properties of Waste Cooking Oil and Spent Coffee Grounds Oil for Potential Use as Asphalt Binder Rejuvenators. **Waste and Biomass Valorization**, v. 9, n. 11, p. 2125–2132, 2018.

JENKINS, R. W. *et al.* Effect of the type of bean, processing, and geographical location on the biodiesel produced from waste coffee grounds. **Energy and Fuels**, v. 28, n. 2, p. 1166–1174, 2014.

KIM, B. H.; AKOH, C. C. Recent Research Trends on the Enzymatic Synthesis of Structured Lipids. **Journal of Food Science**, v. 80, n. 8, p. C1713–C1724, 2015.

KOVALCIK, A.; OBRUCA, S.; MAROVA, I. Valorization of Spent Coffee Grounds: A review. **Food and Bioproducts Processing**, v. 110, p. 104–119, 2018.

KUMAR, B. *et al.* Current perspective on pretreatment technologies using lignocellulosic biomass: An emerging biorefinery concept. **Fuel Processing Technology**, v. 199, n. October 2019, 2020.

MARTINEZ-SAEZ, N. *et al.* Use of spent coffee grounds as food ingredient in bakery products. **Food Chemistry**, v. 216, p. 114–122, 2017.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Bio-refinery approach for spent coffee grounds valorization. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 1077–1084, 2018.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME. **Balço Energético Nacional**, 1982. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf>

MOTA, D. A. *et al.* Production of low-calorie structured lipids from spent coffee grounds or olive pomace crude oils catalyzed by immobilized lipase in magnetic nanoparticles. **Bioresource Technology**, v. 307, p. 123223, jul. 2020.

MURTHY, P. S.; NAIDU, M. M. Resources , Conservation and Recycling Sustainable management of coffee industry by-products and value addition — A review. “**Resources, Conservation & Recycling**”, v. 66, p. 45–58, 2012.

MUSSATTO, S. I. *et al.* A study on chemical constituents and sugars extraction from spent coffee grounds. **Carbohydrate Polymers**, v. 83, n. 2, p. 368–374, 2011.

NAJDANOVIC-VISAK, V. *et al.* Kinetics of extraction and in situ transesterification of oils from spent coffee grounds. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 3, p. 2611–2616, 2017.

POLIDORO, S. *et al.* Journal of Analytical and Applied Pyrolysis Valorization of coffee silverskin industrial waste by pyrolysis : From optimization of bio-oil production to chemical characterization by GC × GC / qMS. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. 129, n. December, p. 43–52, 2018.

POZO, C. DEL *et al.* Production of antioxidants and other value-added compounds from coffee silverskin via pyrolysis under a biorefinery approach. **Waste Management**, v. 109, p. 19–27, 2020.

RAMALAKSHMI, K.; KUBRA, I. R.; RAO, L. J. M. Physicochemical Characteristics of Green Coffee : n. Anonymous 1982, 2007.

SALAZAR-LÓPEZ, N. J. *et al.* Health Benefits of Spent Coffee Grounds Coffea Arabica L . Generalities. In: ROCIO CAMPOS-VEGA B. DAVE OOMAH HAYDÉ AZENETH VERGARA-CASTAÑEDA (Ed.). . **Food Wastes and By-products: Nutraceutical and Health Potential**. [s.l: s.n.] .

SARASINI, F. *et al.* Industrial Crops & Products Recycling coffee silverskin in sustainable composites based on a poly hydroxyvalerate) matrix. v. 118, n. November 2017, p. 311–320, 2018.

SHERWOOD, J. The significance of biomass in a circular economy. **Bioresource Technology**, v. 300, p. 122755, 2020.

SILVA, R. F. DA *et al.* Composição química de farinhas pré-cozidas por extrusão elaboradas com arroz e café torrado Chemical composition of pre-cooked flours produced by extrusion of rice and roasted coffee blending. v. 67, n. 1, p. 52–58, 2008.

TARIGAN, J. B. *et al.* Direct biodiesel production from wet spent coffee grounds. **RSC Advances View**, v. 9, p. 35109–35116, 2019.

UBANDO, A. T.; FELIX, C. B.; CHEN, W. H. Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review. **Bioresource Technology**, v. 299, p. 122585, 2020.

ZABANIOTOU, A.; KAMATEROU, P. Food Waste valorization advocating Circular Bioeconomy -A critical review of potentialities and perspectives of Spent Coffee Grounds Biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, v. 211, p. 1553–1566, 2019.