

Caracterização e extração do óleo da borra de café por diferentes solventes

Characterization and extraction of coffee grounds oil by different solvents

Bruno Levy da Silva Magalhães ^{1*}, Michelle Rossana Ferreira Vaz ¹, Shirley Cristina Cabral Nascimento¹, Davi do Socorro Barros Brasil ¹, Isis Gomes Campos¹, Lucas Antonio Duarte Ribeiro ¹

RESUMO

A elevada geração de resíduos em todo o mundo, fez com que novas aplicações ganhassem notoriedade. Dentre os principais resíduos está a borra de café, pois a bebida retirada para a disponibilização da borra, é a segunda mais consumida do mundo. Para dispor uma aplicação adequada para este resíduo, foi realizado a extração pelo método de Soxhlet com diferentes solventes do óleo contido na borra, assim como a determinação do teor de compostos fenólicos e do índice de acidez. A borra foi obtida após filtração a 100 °C, e direcionada para secagem em estufa e peneiramento. Em seguida, extraiu-se pelo método de Soxhlet duas amostras, uma empregando etanol e outra hexano a uma mesma massa. Realizou-se a extração de uma terceira amostra com massa superior, via hexano. Determinou-se também o teor de compostos fenólicos da borra, e o índice de acidez do óleo extraído. O solvente que apresentou o melhor rendimento foi o etanol com 11,4 %. O teor de compostos fenólicos foi abaixo do esperado, e o índice de acidez esteve adequado para a produção de biodiesel. Conclui-se que a reutilização da borra de café para a produção de biocombustíveis e, posterior extração de fenóis apresenta-se bastante promissora.

Palavras-chave: Borra de café; Resíduos; Óleos;

ABSTRACT

The high generation of waste around the world, has made new applications gain notoriety. Among the main residues is the coffee grounds, as the drink removed for the disposal of the grounds is the second most consumed in the world. In order to have an adequate application for this residue, extraction was carried out using the Soxhlet method with different solvents of the oil contained in the sludge, as well as the determination of the content of phenolic compounds and the acidity index. The sludge was obtained after filtration at 100 °C, and directed to drying in an oven and sieving. Then, two samples were extracted using the Soxhlet method, one using ethanol and the other using hexane at the same mass. A third sample with a higher mass was extracted via hexane. The content of phenolic compounds in the dregs and the acidity index of the extracted oil were also determined. The solvent that presented the best yield was ethanol with 11,4%. The content of phenolic compounds was lower than expected, and the acidity index was suitable for biodiesel production. It is concluded that the reuse of coffee grounds for the production of biofuels and subsequent extraction of phenols is very promising.

Keywords: Coffee grounds; Waste; Oil;

¹ Universidade Federal do Pará

*E-mail: brunolevy422@gmail.com

INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos gerados são materiais que exercem diretamente impactos prejudiciais ao meio ambiente caso os mesmos não sejam descartados corretamente (PROSAB, 2009). Dentre os resíduos gerados em larga escala encontram-se aqueles provindos do café, pois o mesmo é a segunda bebida mais consumida no mundo, onde a principal é a água potável (MATA; MARTINS; CAETANO, 2018).

A quantidade de borra gerada após o consumo do café, e durante a produção do mesmo, trouxe consigo a necessidade de outras aplicações para o determinado produto. Dentre os possíveis empregos podem-se citar a sua utilização como adubo, ração animal, na elaboração de cosméticos, fabricação de biscoitos, e produção de biodiesel (VIOTTO, 1991). Em se tratando dos biocombustíveis, a borra de café apresenta-se como uma viabilidade a ser empregada, pois o mesmo contém uma elevada quantidade de lipídios, sendo eles em sua maioria ésteres de álcool diterpeno e triglicerídeos, que influenciam diretamente na produção de um biodiesel de elevada qualidade (COUTO et al., 2009).

O óleo presente na borra de café, segundo Campos-Veja et al. (2015), é um componente de fácil extração e com um elevado valor econômico, por ser uma fonte preciosa de compostos que possuem elevada aplicabilidade nas indústrias. Estudos realizados por Ravindranath et al. (1972), demonstraram que o teor de óleo encontrado na borra de café, utilizando como solvente o éter de petróleo, ficou em torno de 8 a 17%; enquanto que para uma borra de café integral, de acordo com Adans e Dougan (1985), a quantidade de lipídeos encontrado variou de 22 a 27%. Estes teores estão alinhados aos dispostos por Santos (2010) para os principais óleos vegetais utilizados na produção de biodiesel, a Soja e a Oliva, com 18 a 20% e 25 a 30%, respectivamente.

De acordo com Turatti (2001), existem dois principais métodos de extração do óleo da borra de café, o de prensagem, e por meio do equipamento Soxhlet. O segundo, por haver uma renovação constante do solvente no sólido, através das diversas circulações realizadas, é o mais utilizado, pois além de aumentar o tempo de contato, facilita o equilíbrio de transferência. Durante o processo de extração do óleo via Soxhlet, a temperatura aderida ao sistema durante a operação é mantida relativamente alta, facilitando com que o solvente utilizado consiga chegar até a matriz porosa, para a retirada de certos compostos, pois o equipamento possui baixo custo. (CASTRO; PRIEGO-CAPOTE, 2010).

O processo extrativo via Soxhlet deve-se utilizar um solvente que contenha um menor ponto de ebulição, atrelado a um menor tempo de processo, melhor eficiência, e represente bem o procedimento realizado em escala industrial. Estudos realizados por Wakelyn e Wan (2005) demonstraram que o solvente com maior aplicabilidade comercial nas indústrias é o hexano, por apresentar maior aderência às características anteriormente mencionadas. Entretanto, devido ao fato de o mesmo ser de origem fóssil, muitos poluentes atmosféricos são gerados após a queima do mesmo, gerando elevados prejuízos ambientais.

De acordo com exposto por Freitas e Lago (2000) uma das alternativas a serem atribuídas como solvente é o álcool etílico, que além de possuir valores de mercado competitivos ao solvente de origem fóssil, pode ser obtido por meio de diferentes fontes renováveis. A alta demanda produtiva de cana de açúcar no Brasil aumenta cada vez mais a viabilidade deste solvente no processo extrativo do óleo do biomaterial, que por meio de novas tecnologias, poderão diminuir conseqüentemente a dependência dos derivados do petróleo (RITTNER, 1991).

Desta forma, atrelado ao que foi exposto, o presente trabalho teve como objetivo a diminuição da geração de resíduos, por meio da extração do óleo da borra de café, utilizando o equipamento Soxhlet. Ademais, realizou-se um comparativo entre os solventes etanol e hexano, e a determinação do índice de acidez, a fim de se obter um rendimento que aumente a disposição deste material para a produção de biocombustíveis. Outrossim, determinou-se o teor de compostos fenólicos da borra de café, para indicação de possíveis alternativas de aplicação deste resíduo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção e preparo da borra de café

A borra de café foi obtida de um estabelecimento residencial seguro, após o aquecimento até atingir a temperatura de ebulição da solução, contendo água e café solúvel, e posterior filtração. O material retido foi direcionado para uma Estufa Digital Microprocessada de Esterilização e Secagem Vulcan, para a retirada da umidade, a temperatura de 105 °C durante 24 horas. Em seguida, realizou-se o peneiramento, malha de 14 mesh, durante 15 minutos. Este procedimento teve como objetivo o aumento da área superficial da amostra, para que durante a extração o solvente conseguisse alcançar as partes mais internas do sólido para a retirada do soluto. Sucessivo a esta etapa, colocou-

se a amostra dentro de um cartucho formado de papel filtro, separando 5 g para cada solução de solvente a ser utilizado. Para a adsorção do soluto durante a extração, utilizou-se 150 ml de cada solvente, nos quais foram devidamente aderidos a um balão volumétrico.

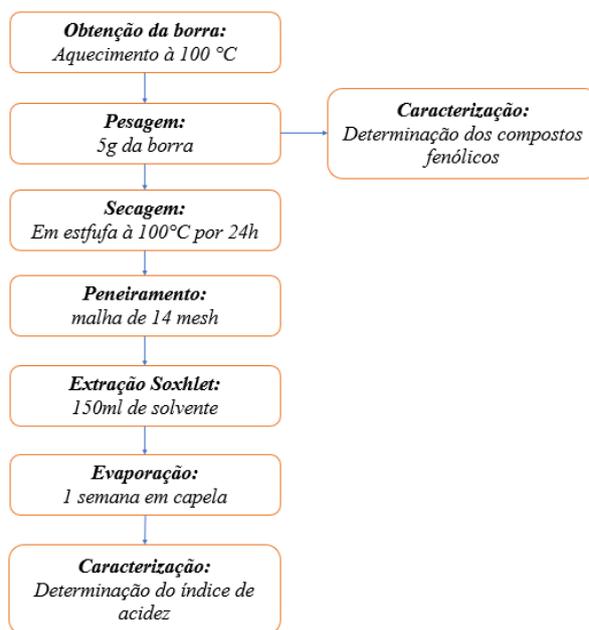
A fim de determinar o teor de óleo extraído com a variação da quantidade de soluto e solvente empregado, realizou-se outra extração com 57 g de borra de café previamente tratada pelos procedimentos anteriormente mencionados, e 500 ml de hexano, por possuir um maior número de recirculações no processo. A variação destes parâmetros são fundamentais para a ampliação do método, ou seja, a transferência de um processo em escala laboratorial, para piloto, e posteriormente industrial, pois os resultados poderão atestar modelos para projetos futuros.

Extração do óleo

O cartucho foi transferido para o extrator Soxhlet e acoplado a um condensador. Sob um sistema de aquecimento com manta térmica, estava o balão contendo o solvente, que após atingir o seu ponto de ebulição, evaporou-se para a parte superior do equipamento, onde em contato com o condensador, respingou sobre o cartucho contendo a borra, adsorvendo dessa forma, o soluto contido no sólido. A finalização da etapa de extração para o solvente etanol, ocorreu após serem realizados dois ciclos em um período de 1 hora de adsorção. Para o término da extração com hexano, foram-se realizados quatro ciclos durante 1 hora de operação.

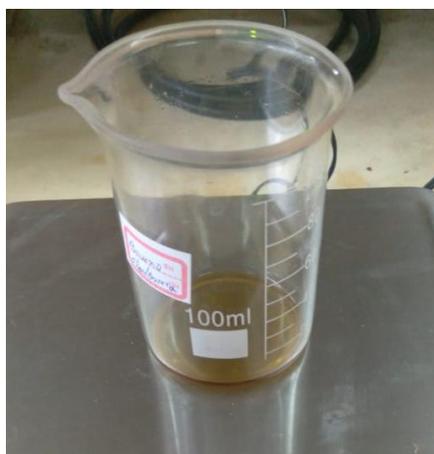
Em seguida, para que o solvente fosse totalmente expelido da solução contendo o óleo da borra, deixou-se os balões contendo os solventes durante 1 semana em capela. Com a obtenção do óleo, aferiu-se novamente as massas, e determinou-se o rendimento do óleo em relação a massa inicial da borra disposta no presente trabalho para cada extração. A seguir nas Figuras 1 e 2, são apresentados o fluxograma de todo o procedimento realizado, e o óleo obtido após a extração pelo método de Soxhlet.

Figura 1 – Fluxograma da extração do óleo da borra de café pelo método de Soxhlet



Fonte: Autores (2022)

Figura 2 – Óleo obtido após à extração



Fonte: Autores (2022)

Compostos fenólicos

Realizou-se a análise da quantidade deste parâmetro aderente a borra de café disposta. Primeiramente preparou-se 1g do sólido com 20 mL de água destilada, previamente aquecida a 80 °C, para a obtenção do extrato aquoso. Posteriormente, para a determinação da concentração de polifenóis totais, utilizou-se o método calorímetro

apresentado por Rossi e Singleton (1965). Neste procedimento, dilui-se o extrato bruto da borra de café em 100 ou 200 vezes com água destilada. Pipeta-se em seguida 0,5 mL do diluído em um tubo de ensaio, assim como 0,5 mL do reagente Folin Ciocalteau 2N e 1 mL de água destilada. Passados 5 minutos adiciona-se 0,5 mL de carbonato de sódio (Na_2CO_3) a 10%, e veda-se com papel alumínio o tubo de ensaio por 1 hora, para posterior análise. Logo depois, realiza-se a leitura da absorbância em um espectrofotômetro UV-VIS, a partir de um comprimento de onda de 760 nm.

Índice de acidez

O procedimento utilizado para a determinação da acidez apresentada no óleo após a extração, foi aderida em consonância ao método exposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008). Pesou-se a priori 2 g da amostra oleaginosa em Erlenmeyer, adicionou-se em seguida ao mesmo, 25 mL da solução neutra de éter-álcool (2:1), bem como 3 gotas de fenolftaleína. Por último, titulou-se o material com uma solução de hidróxido de sódio a 0,1 N. A obtenção deste parâmetro refere-se como sendo o número em mg de hidróxido de potássio necessário para neutralizar 1 g da amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos experimentos realizados, pode-se obter os resultados, primeiramente, do número de ciclos desenvolvidos ao longo do tempo de extração para cada um dos solventes, conforme apresentado na Tabela 01. Cada um dos solventes operou a uma temperatura de 100 °C, durante um período de 1 hora.

Posteriormente, parâmetros fundamentais para a análise do método extrativo, como a temperatura de ebulição, índice de polaridade, e o rendimento do processo extrativo, também foram apresentados, devido as suas grandes influências no desenvolvimento da adsorção do soluto no meio.

Tabela 1 – Resultados dos processos extrativos

Solventes	Ciclos	Temperatura de ebulição ¹ (°C)	Índice de polaridade ²	Rendimento da Extração (%)
Etanol	2	79	5,2	11,4 ± 0,02
Hexano	4	68	0,0	7,60 ± 0,04

Fontes: 1 - Efthymioupulos et al. (2018)

2 - Andrade et al. (2012)

Aderindo aos resultados dispostos na Tabela 1 acima, desprende-se que o solvente com melhor rendimento durante a extração para os parâmetros previamente estabelecidos foi o etanol com $11,4 \pm 0,02$, apresentando um valor 4% superior quando comparado ao hexano, que obteve $7,60 \pm 0,04$.

Para o rendimento obtido para o álcool etílico infere-se que o mesmo está em consonância ao trabalho desenvolvido por Malavolta et al. (2021), que expos teores de óleo em torno de 10,33; porém, está inferior ao apresentado por Araújo (2019), que por meio deste procedimento obteve rendimento com etanol de 15,64. Com relação ao solvente hexano, este encontra-se abaixo do encontrado nos estudos desenvolvidos por Andrade (2011) e Batista (2016), com teores de lipídeos em torno de 12 e 16,71 respectivamente.

Segundo estudos propostos por Efthymiououlos et al. (2018), um dos motivos para que o álcool etílico aderisse melhor resultado, está diretamente ligado ao fator temperatura; pois ao se aumentar o mesmo, a estrutura celular da borra é rompida, facilitando a disponibilidade e solubilidade dos solutos no solvente. Como a temperatura de ebulição do hexano é inferior ao do etanol, este começa a degradar mais rapidamente a temperaturas elevadas, ocasionando a perda de solvente ao longo do tempo; logo, a saturação da quantidade mínima de solvente disposta no procedimento ocorrerá em um menor período, diminuindo a extração.

A degradação do solvente também afeta diretamente a quantidade de ciclos efetuados no processo, onde o etanol realizou 2 e o hexano efetuou 4. Esse fato ocorre pela facilidade de evaporação do solvente hexano, por se dispor de uma temperatura de ebulição baixa. Como o processo foi operado a uma temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante todo o regime operacional, o hexano, embora tenha obtido maior número de contatos com o sólido, teve seu rendimento diminuído, pois a temperatura estava acima de $68\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Outra variável que interfere preponderantemente no processo de adsorção é o índice de polaridade característico para cada um dos solventes. Este, assim como para temperatura, quando disponibilizados valores altos de polaridade, elevam consigo o teor de óleo extraído. Embora os glicerídeos de ácidos graxo insaturados e saturados possuam características químicas apolares, a presença de alguns compostos polares na matriz vegetal do sólido em proporção intermediária a alta, corroboram para o maior rendimento apresentado pelo álcool etílico no procedimento (ANDRADE, 2011).

De acordo com o que foi realizado no trabalho de Júnior (2018), buscou-se verificar a influência do sólido e do solvente ao serem elevados no processo extrativo. O rendimento obtido a partir desta variação foi de 6%, utilizando uma temperatura de 100 °C por 1h. Este resultado mostrou-se inferior ao exposto por Júnior (2018), que obteve um rendimento de 15,83% com 500 g de soluto e 200 mL de solvente a uma temperatura de 70 °C; ademais, esteve em consonância ao apresentado por Malavolta (2021), com rendimento de 7,85% em uma proporção 1/6 de borra por solvente, operando a uma temperatura de 60 °C.

Um dos principais motivos por intermédio dos quais obteve-se esse resultado, está interligado diretamente com a temperatura, pois em ambos os trabalhos apresentados pelos autores, a temperatura utilizada para o processo de adsorção esteve inferior ao ponto de ebulição do solvente aplicado. Em ambos os trabalhos foram empregados o solvente etanol, que possui temperatura de ebulição superior ao do hexano, que como já exposto, ocasionou possível degradação do solvente ao longo do processo.

Outro importante parâmetro a ter papel importante durante a extração pelo método de Soxhlet é o tempo de operação. Verificou-se na literatura que as extrações que obtiveram rendimentos superiores foram as que realizaram o seu processo em um período de tempo elevado. Estudos desenvolvidos por Araújo (2019), Andrade (2011), Júnior (2018) e Malavolta (2021), utilizaram um período de tempo em horas de 6, 6, 8, e 12, respectivamente, em suas extrações, o que fez com que estes obtivessem rendimento superior ao apresentado neste segundo experimento.

Devido aos elevados gastos energéticos, bem como a onerosidade de aquisição do hexano, optou-se por utilizar em ambos os experimentos um tempo mínimo de 1 hora, para a realização do método. Com isso, pode-se notar que o período inferior atribuído, fez com que adsorção do soluto para o solvente fosse mínima, pois o mesmo não conseguiu atingir o seu estado de saturação após o espaço de tempo utilizado; logo, desprende-se que ao final do processo ainda poderão ser encontrados uma porcentagem de soluto na matriz sólida da borra de café empregada no método, ocasionando uma possível perda extrativa.

A elevada aplicabilidade de diversas oleaginosas na produção de biocombustíveis corroborou para a determinação do índice de acidez presente no óleo extraído via hexano. Seguindo o procedimento proposto pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), o resultado obtido para o lipídio extraído da borra de café foi de 1,8 mg de KOH/g de óleo; este valor

encontra-se abaixo da acidez máxima apresentada tanto por Knothe et al. (2011), como pela Anvisa (2005), de 2 e 4 mg de KOH/g de óleo respectivamente.

De acordo com o trabalho apresentado por Santos (2010), elevados índices de acidez, ocasionados pela presença de ácidos graxos livres, influenciam diretamente na reação de saponificação durante o processo de transesterificação, devido ao maior grau de oxidação e hidrolisação, que dificulta a posterior separação do biodiesel dos resíduos, tais como os resquícios de álcoois, catalisador, e principalmente o glicerol obtido após a reação.

O resultado do presente trabalho esteve em consonância ao disposto nos estudos de Turatti (2001), com 2,82 mg/g, Santos (2010), com 3,1 mg/g, e Silva (2020), com 1,5 mg/g, demonstrando a viabilidade de utilização do óleo da borra. Com isso, compreende-se que a disponibilização do óleo extraído da borra de café pelo método de Soxhlet, e a posterior aplicação deste no processo de transesterificação via alcalina, para a produção de biodiesel torna-se eminente, pois a qualidade do produto formado após a reação terá um rendimento adequado quando incorporado ao diesel, ao ser adicionado em motores, por meio da combustão (CALDEIRA, 2015). Ademais, outro fator importante atribuído a determinação do índice de acidez como parâmetro a produção de biodiesel, está na indicação de qual (ácido ou básico), e em que proporção de catalisador deve ser empregado para que ocorra uma elevada conversão, além da necessidade de um pré-tratamento da matéria-prima (MALAVOLTA, 2021).

Levando em consideração as diferentes aplicabilidades dos compostos fenólicos, foi determinado o teor de ácido gálico equivalente em mg (AGE), a cada grama de amostra. A partir do procedimento empregado por Rossi e Singleton (1965), obteve-se um valor de aproximadamente 0,18766 mg de AGE/g, resultado esse muito inferior aos valores publicados por Vieira (2015) e Mussatto et al. (2011). O trabalho de Vieira foi utilizado o café verde na requerida determinação, no qual obteve-se 4,855 mg/g de compostos fenólicos; ademais, no estudo proposto por Mussatto, aplicando a borra de café em metanol e etanol, foram obtidos valores de 16 e 21,6 mg de AGE/g de amostra.

Segundo Vieira (2015), dentre os principais motivos por intermédio dos quais obteve-se a grande discrepância dos resultados, está nas diferentes formas de tratamento da matéria-prima, assim como todo o processo de obtenção do café solúvel, e posterior disponibilização da borra; outrossim, os diferentes tipos de café, região produzida, e

clima, são também outros fatores que afetam diretamente a disponibilização deste composto.

Por tanto, apesar de o teor de compostos fenólicos dispostos na borra de café aferida, sua viabilidade de extração, utilização da borra, ou extração do óleo, na retirada destes fenóis totais mostra-se eminente, devido aos grandes benefícios proporcionados ao organismo e outras alternativas, por apresentar atividade antioxidante, anticarcinogênica, antialérgica, antimicrobiana, entre outros (KIM; OM, 2008).

CONCLUSÃO

Dessa forma, compreende-se que o emprego do método de Soxhlet utilizando o solvente etanol para a extração do óleo contido em 5 gramas de borra de café apresentou-se maior viabilidade, corroborando para futuras aplicações mais sustentáveis e renováveis, afetando minimamente o meio ambiente.

Ademais, o índice de acidez do óleo extraído com hexano esteve dentro do parâmetro máximo permitido para os biocombustíveis, o que mostrou a excelente rota alternativa para uma possível aplicação do óleo na produção de biodiesel. Outrossim, embora tenha-se obtido um teor inferior de compostos fenólicos na borra de café ao explicitado na literatura, pode-se por meio de um beneficiamento e tratamento adequado obter-se teores maiores, que viabilizará a sua utilização em diversas áreas, tais como a farmacêutica e nutricional.

REFERÊNCIAS

ADANS, M.R. & DOUGAN. Waste products. In: CLARKE, R.J. & MACRAE, R. **Coffee: Technology**. London: Elsevier Applied Science, v.2, p. 282-291, 1985.

ANDRADE, K. S. **Avaliação das técnicas de extração e do potencial antioxidante dos extratos obtidos a partir da casca e de borra de café (*Coffea arabica L.*)**. Dissertação submetida ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia de Alimentos. 2011.

ANDRADE, K. S.; GONÇALVES, R. T.; MARASCHIN, M.; RIBEIRO-DO-VALLE, R. M.; MARTÍNEZ, J.; FERREIRA, S. R. S. **Supercritical fluid extraction from spent coffee grounds and coffee husks: Antioxidant activity and effect of operational variables on extract composition**. *Talanta*, v. 88, p. 544–552, 2012.

ANVISA. Resolução **RDC** no 277 de 22 de setembro de 2005.

- ARAUJO, M. N. **Extração de óleo de borra de café usando dióxido de carbono supercrítico e etanol (scCO₂+EtOH)**. Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química. 2019.
- BATISTA, G. L. A. S.; SOUZA, E. S.; ALMEIDA, M. M.; ALBUQUERQUE, J. C.; ARAUJO, M. B. V.; ARAUJO, H. W. **Extração do óleo da borra do café: alternativa para redução dos impactos ambientais**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEQ), 2016, Fortaleza – CE.
- CALDEIRA, D. C. A. **Valorização da borra de café: Otimização da produção de biodiesel por catálise enzimática**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química – Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2015.
- CAMPOS-VEGA, R.; LOARCA-PI, G.; VERGARA-CASTA, H. A.; DAVE OOMAH, B. **Spent coffee grounds: A review on current research and future prospects**. Trends in Food Science & Technology, v. 45, p. 24–36, 2015.
- CASTRO, M. D. L.; PRIEGO-CAPOTE, F. **Soxhlet extraction: Past and present panacea**. Journal of Chromatography A, v. 1217, p. 2383-2389, 2010.
- COUTO, R. M.; FERNANDES, J.; SILVA, M. D. R. G.; SIMÕES, P. C. **Supercritical fluid extraction of lipids from spent coffee grounds**. The Journal of Supercritical Fluids, v.59, p. 159-166, 2009.
- EFTHYMIPOULOS, I.; HELLIER, P.; LADOMMATOS, N.; RUSSO-PROFILI, A.; EVELEIGH, A.; ALIEV, A.; KAY, A.; MILLS-LAMPTEY, B. **Influence of solvent selection and extraction temperature on yield and composition of lipids extracted from spent coffee grounds**. Industrial Crops and Products, v. 119, n. March, p. 49–56, 2018.
- FREITAS, S.P.; MONTEIRO, P.L.; LAGO, R.C.A. **Extração do óleo da borra do café solúvel com etanol comercial**. I Simpósio de Pesquisa dos cafés do Brasil, Industrialização. Poços de Caldas. p.740-743. 2000.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3. Ed. São Paulo: IMESP, 2008.
- JUNIOR, J. V. de P. **Extração do óleo da borra de café**. Campina Grande: UEPB, 2018. 31 p.
- KIM, J. H.; OM, A. **A quantitative structure-activity relationship model for radical scavenging activity of flavonoids**. Journal of Medicinal Food, v. 11, n.1: p. 29-37, 2008.
- KNOTHE, G.; GERPEN, J. V.; KRAHL, J.; RAMOS, L. P. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Blucher, 2011.
- MALAVOLTA, J. L.; ROSA, E. P. da; LECINA, N. N. **Matérias-primas para produção de biodiesel: extração e avaliação do potencial do óleo da borra residual do consumo de café**. o Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia Farroupilha. 2021.

- 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.
- MUSSATTO, S. I.; BALLESTEROS, L. F.; MARTINS, S.; TEIXEIRA, J. A. **Extraction of antioxidant phenolic compounds from spent coffee grounds.** *Separation and Purification Technology*, v. 83, p. 173–179, 2011.
- PROJETO PROSAB. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras/Luciana Paulo Gomes** (coordenadora). Rio de Janeiro: ABES, 2009.
- RAVINDRANATH, R.; YOUSUF ALI KHAN, R.; OBY REDDY, T. THIRUMALA RAO, S.D.; REDDY, B.R. **Composition and characteristics of indian coffee bean, spent ground and oil.** *Journal of the Science Food and Agriculture*. v. 23, p.307-310, 1972.
- RITTNER, H. **Extraction of vegetable oils with ethyl alcohol.** In: International Meeting on Fats and Oils. 1991, Technology, Proceedings, Campinas GTZ, p. 17-30.
- ROSSI, J. A. J.; SINGLETON, V. L. **Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents.** *American Journal Enol. Vitic.* v. 16, p. 144-58, 1965.
- SANTOS, D. M. **Desenvolvimento de método para obtenção de energia a partir da produção de biodiesel via extração de óleo de borra de pó de café em escala laboratorial.** São Paulo, USP (2010). Dissertação (Mestrado em Ciências). Programa de interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, 2010.
- SILVA, E. R. da. **Produção de biodiesel a partir do óleo extraído da borra do café pela rota supercrítica.** Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade do Rio Grande do Norte, como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Químico. 2020.
- SINGLETON, V. L.; ROSSI, J.A. Jr. **Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents.** *Amer. J. Enol. Viticult.* v.16, p. 144-158, 1965.
- TURATTI, J.M. **Extração e caracterização de óleo de café.** In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Vitória, 2001. Resumos expandidos. Brasília: EMBRAPA Café, p.1533-1539, 2001.
- VIEIRA, L. do C. G. **Características fitoquímicas e propriedades antioxidantes do grão de café verde.** Trabalho apresentado à Universidade Fernando Pessoa como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Farmacêuticas. 2015.
- VIOTTO, L. A. **Projeto e Avaliação econômica de sistemas de Secagem de Borra de Café.** Tese de Mestrado. Campinas: UNICAMP, 1991.
- WAKELYN, P. J.; WAN, P. J. **Solvent extraction to obtain edible oil products.** In: AKOH, C. C. *Handbook of Functional Lipids.* CRC Press, 2005.