

Casca do café como recurso sustentável: composição química, bioatividade e aplicações na economia circular

Coffee husk as a sustainable resource: chemical composition, bioactivity, and applications in the circular economy

Andreza Vitória de Souza Nascimento, Letícia Marques de Almeida, Ana Carine da Silva, Arthur Van Lauter Albuquerque Pereira, Wagner Miguel Dos Santos Silva, Josué Filipe de Oliveira Moraes Miranda, Maria Emanuelle de Oliveira Queirós, Carolina Ávila dos Anjos Santos, Arthur Felix Freire da Silva, Diego Santa Clara Marques +, Iranildo José da Cruz Filho, Maria do Carmo Alves de Lima

Universidade Federal de Pernambuco

Resumo. A cadeia produtiva do café gera quantidades expressivas de casca, um subproduto cuja disposição inadequada pode aumentar a carga orgânica do solo e da água e liberar cafeína, taninos e compostos fenólicos. Esta mini-revisão analisou a composição química, as propriedades bioativas, as aplicações tecnológicas e a importância ambiental e econômica da casca do café. A pesquisa bibliográfica narrativa foi realizada nas bases Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO e ScienceDirect, com consulta complementar ao Google Scholar. A casca apresenta matriz lignocelulósica rica em celulose, hemicelulose, lignina, fibras, proteínas, minerais e polissacarídeos, além de cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, flavonoides e outros compostos fenólicos. Essa composição favorece sua utilização em alimentos funcionais, bebidas, extratos bioativos, alimentação animal, adsorventes, biocompósitos, fertilizantes, biochar e biocombustíveis. Estudos experimentais também indicam atividades antioxidante, antimicrobiana, anti-inflamatória e potenciais efeitos metabólicos, antivirais, antiparasitários e anticancerígenos. Entretanto, a variabilidade química, os fatores antinutricionais e a limitada disponibilidade de estudos clínicos dificultam generalizações. Conclui-se que o aproveitamento integrado da casca do café pode reduzir impactos ambientais e gerar produtos de valor agregado, desde que sejam estabelecidos processos padronizados, avaliações toxicológicas, controle de contaminantes e estudos de viabilidade econômica e ambiental para aplicações comerciais seguras.

Palavras-chave: Subprodutos do Café, Composição Química, Bioatividade, Valorização de Resíduos, Economia Circular.

Abstract. The coffee production chain generates substantial amounts of husk, a by-product whose improper disposal can increase the organic load in soil and water and release caffeine, tannins, and phenolic compounds. This mini-review examined the chemical composition, bioactive properties, technological applications, and environmental and economic relevance of coffee husk. A narrative literature search was conducted using Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO, and ScienceDirect, complemented by Google Scholar. Coffee husk has a lignocellulosic matrix rich in cellulose, hemicellulose, lignin, dietary fiber, proteins, minerals, and polysaccharides, as well as caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, flavonoids, and other phenolic compounds. This composition supports its use in functional foods, beverages, bioactive extracts, animal feed, adsorbents, biocomposites, fertilizers, biochar, and biofuels. Experimental studies have also indicated antioxidant, antimicrobial, and anti-inflammatory activities, along with potential metabolic, antiviral, antiparasitic, and anticancer effects. However, chemical variability, antinutritional factors, and the limited availability of clinical studies hinder broad generalizations. Overall, the integrated valorization of coffee husk may reduce environmental impacts and generate value-added products, provided that standardized processing methods, toxicological assessments, contaminant control, and economic and environmental feasibility studies are established to ensure safe commercial applications.

Keywords: coffee by-products, chemical composition, bioactivity, waste valorization, circular economy.

Introdução

A cadeia produtiva do café gera volumes expressivos de resíduos, entre os quais se destaca a casca formada durante o beneficiamento dos

frutos (Tsigkou et al., 2025). em concentrações elevadas, podem apresentar efeitos tóxicos e ecotóxicos sobre organismos e cadeias alimentares aquáticas, interferir na atividade microbiana e

reduzir a qualidade ambiental dos ecossistemas receptores (Ali et al., 2025). Em contrapartida, sua composição permite recuperar moléculas bioativas e converter a fração lignocelulósica em alimentos, materiais, insumos agrícolas e produtos energéticos (Tamilselvan et al., 2024). Assim, a valorização da casca reduz custos de manejo, substitui parcialmente matérias-primas convencionais e cria oportunidades de renda para produtores e cooperativas, em consonância com os princípios da economia circular (Gil-Gómez et al., 2024; Bojórquez-Quintal et al., 2024; Tsigkou et al., 2025). Esta mini-revisão teve como objetivo sintetizar as informações disponíveis sobre a composição química, as aplicações tecnológicas, as propriedades bioativas e os aspectos de segurança relacionados à casca do café, destacando seu potencial para a redução de impactos ambientais e a geração de benefícios econômicos, além de destacar as principais lacunas de conhecimento que ainda precisam ser preenchidas para ampliar e otimizar seu aproveitamento.

Metodologia da revisão

Esta mini-revisão foi elaborada por meio de uma pesquisa bibliográfica de caráter narrativo, com buscas realizadas nas bases de dados Scopus, Web of Science, PubMed, SciELO e ScienceDirect. O Google Scholar foi utilizado de maneira complementar para localizar estudos não recuperados nas buscas principais e verificar referências citadas nos trabalhos selecionados. A pesquisa contemplou publicações disponíveis até agosto de 2026 e utilizou combinações dos descritores em inglês “coffee husk”, “coffee cascara”, “coffee pulp”, “coffee by-products”, “chemical composition”, “phenolic compounds”, “bioactive compounds”, “antioxidant activity”, “antimicrobial activity”, “biological activity”, “toxicity”, “food applications”, “biofuel”, “adsorbent”, “biorefinery” e “circular economy”. Os termos foram combinados com os operadores booleanos AND e OR, de acordo com as características de cada base de dados.

Foram incluídos artigos originais, revisões e documentos técnico-científicos publicados em português, inglês ou espanhol que apresentassem informações sobre composição química, propriedades bioativas, segurança, aplicações tecnológicas ou valorização ambiental e econômica da casca do café. Não foi estabelecido limite inicial de ano, permitindo a inclusão de trabalhos clássicos relacionados aos métodos de avaliação da atividade antioxidante; entretanto, para composição química e aplicações, foram priorizadas publicações entre 2015 e 2026. Foram excluídos trabalhos duplicados, estudos sem informações metodológicas essenciais, publicações sem relação direta com o escopo da revisão e trabalhos sobre outros subprodutos do café que não permitissem distinguir claramente casca, polpa, pergaminho ou cascara.

A seleção foi conduzida inicialmente pela leitura dos títulos e resumos, seguida da avaliação integral dos trabalhos potencialmente relevantes. As informações foram organizadas nas categorias: composição química; importância ambiental, comercial e econômica; aplicações alimentícias, agrícolas, energéticas e ambientais; propriedades bioativas; e aspectos de segurança. Considerando o caráter narrativo e exploratório da revisão, não foram realizadas metanálise nem avaliação quantitativa do risco de viés. Sempre que possível, foram priorizados estudos com identificação química por técnicas cromatográficas e espectrométricas, descrição adequada das condições experimentais e apresentação de resultados quantitativos.

Contextualização e análise

Composição química da casca do café

A casca do café apresenta composição complexa e variável, pois pode reunir diferentes proporções de epicarpo, polpa seca e pergaminho (Cangussu et al., 2021). Sua fração estrutural inclui celulose, hemicelulose, lignina e fibras alimentares, acompanhadas por proteínas, lipídios, carboidratos solúveis e minerais. Cangussu et al. (2021) relataram fibra alimentar correspondente a aproximadamente 65,8% da matéria seca, enquanto análises voltadas à biomassa indicaram cerca de 39,2% de celulose, 12,6% de hemicelulose e 26,2% de lignina. As diferenças entre os valores decorrem da fração estudada, da origem da amostra, do processamento e do método analítico.

Entre os metabólitos especializados, destacam-se os ácidos clorogênicos — especialmente os isômeros 3-, 4- e 5-cafeoilquínico e derivados dicafeoilquínicos —, além dos ácidos gálico, protocatecuico, p-hidroxibenzoico, p-cumárico e ferúlico. Também são encontrados cafeína, trigonelina, rutina, mangiferina, isomangiferina e derivados glicosilados de flavonoides. A caracterização de diferentes amostras de cascara por HPLC-UV e HPLC-MS/MS revelou ainda glicosídeos de di-hidromiricetina e polissacarídeos formados principalmente por arabinose, galactose, glicose e manose (Zhang et al., 2022). Liang et al. (2025) confirmaram um perfil fenólico geral semelhante em amostras de sete regiões, mas observaram diferenças quantitativas relacionadas à origem geográfica e ao método de extração.

Em conjunto, os dados caracterizam a casca como uma matriz rica em fibras, polissacarídeos e compostos bioativos. Essa diversidade sustenta seu aproveitamento tecnológico e funcional, mas a influência da espécie, variedade, maturação, local de cultivo, processamento pós-colheita e extração exige a padronização da matéria-prima e dos métodos de análise (Cangussu et al., 2021; Zhang et al., 2022; Cruz Filho et al., 2024; Liang et al., 2025).

Importância ambiental, comercial e econômica

A valorização da casca converte um passivo ambiental em matéria-prima renovável. Além de reduzir os gastos com transporte, armazenamento e descarte, essa estratégia pode diminuir a pressão sobre recursos naturais e diversificar as receitas da cadeia cafeeira. A produção de casca para infusões e bebidas é uma das aplicações comerciais mais desenvolvidas; sua autorização como novo alimento na União Europeia amplia as possibilidades de inserção em mercados regulamentados, desde que sejam atendidas as especificações de composição, processamento e segurança (EFSA, 2022).

Produtos de maior valor agregado podem ser obtidos pela recuperação de cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, flavonoides, fibras e polissacarídeos. Uma abordagem de biorrefinaria, com separação sequencial das frações bioativas, materiais e energéticas, favorece o aproveitamento integral da biomassa e a distribuição dos custos entre diferentes produtos (Rebollo-Hernanz et al., 2021, 2023). Em regiões produtoras, unidades locais de secagem, fermentação, compostagem e produção de biochar também podem estimular pequenos empreendimentos e gerar trabalho. Contudo, a viabilidade depende da sazonalidade, escala, infraestrutura, logística, aceitação do mercado e conformidade sanitária; por isso, cada rota requer avaliação técnico-econômica e ambiental própria (Peluso, 2023; Bojórquez-Quintal et al., 2024).

Aplicações tecnológicas

Alimentos, ingredientes funcionais e alimentação animal

A casca seca, frequentemente denominada casca, pode ser utilizada em infusões, bebidas frias, produtos fermentados e formulações funcionais (Le et al., 2023). Sua fibra incorporada a pães, biscoitos e barras de cereais; em pão sem glúten, melhorou propriedades nutricionais e físico-químicas, enquanto extratos associados à inulina apresentaram aceitação sensorial e tolerância gastrointestinal adequadas em iogurtes (Iriando-DeHond et al., 2020a, 2020b). Extratos fenólicos obtidos por processos aquosos também apresentam potencial para os setores nutracêutico, cosmético e farmacêutico (Rebollo-Hernanz et al., 2021). O uso alimentar, entretanto, exige controle de cafeína, micotoxinas, pesticidas, contaminantes microbiológicos e produtos da reação de Maillard (Iriando-DeHond et al., 2020c; EFSA, 2022).

Na alimentação animal, a casca pode fornecer fibras e energia, mas cafeína, taninos e lignina limitam sua incorporação. Fermentação, ensilagem, lavagem e hidrólise enzimática podem reduzir fatores antinutricionais e melhorar a digestibilidade. Como a composição varia com a matéria-prima e o processamento, níveis seguros de inclusão devem ser definidos para cada espécie

animal e produto (Klingel et al., 2020; Cangussu et al., 2021).

Materiais e tratamento ambiental

A fração lignocelulósica pode originar celulose, biocompósitos, painéis e materiais poliméricos biodegradáveis. Tratamentos superficiais das fibras ampliam sua compatibilidade como reforço em compósitos, enquanto a celulose isolada pode substituir parcialmente fontes convencionais (Gonçalves et al., 2020; Woldu et al., 2024). A casca *in natura*, modificada ou convertida em biochar e carvão ativado também pode adsorver cafeína, corantes e íons metálicos, como Pb^{2+} , indicando aplicação potencial no tratamento de águas residuais (Ronix et al., 2017; Torres-Castillo et al., 2021; Rusnam et al., 2022).

Energia e agricultura

Digestão anaeróbia, fermentação, compactação e processos termoquímicos permitem produzir biogás, bioetanol, briquetes, pellets, bio-óleo e carvão. A pirólise lenta de briquetes, por exemplo, gera frações sólidas e líquidas com potencial energético (Setter et al., 2020; Sugebo, 2022). No setor agrícola, compostagem e pirólise convertem a casca em composto orgânico ou biochar. Sua aplicação direta deve ser evitada, pois cafeína, taninos e fenólicos podem causar fitotoxicidade; estabilização prévia e caracterização do produto final são, portanto, indispensáveis (Pongsiriyakul et al., 2024).

Propriedades bioativas

Atividade antioxidante

A atividade antioxidante da casca do café está associada principalmente à presença de compostos fenólicos, incluindo ácidos clorogênicos, flavonoides e taninos, além da contribuição de outros constituintes bioativos, como a cafeína, que podem atuar por mecanismos de transferência de elétrons ou átomos de hidrogênio, favorecendo a neutralização e a estabilização de espécies radiculares (Ali et al., 2025; Kauffmann et al., 2025). Ensaio químicos indicam potencial para aplicações alimentícias e nutracêuticas, mas seus resultados dependem da composição, da extração e do método empregado (Silva et al., 2021; Neves et al., 2019). Os diferentes métodos de avaliação da atividade antioxidante investigam mecanismos complementares. Os ensaios DPPH e ABTS avaliam principalmente a capacidade dos compostos antioxidantes de neutralizar espécies radiculares, enquanto o método FRAP determina o poder redutor da amostra por meio da redução de íons férricos (Fe^{3+}) a ferrosos (Fe^{2+}). Por sua vez, o ensaio ORAC estima a capacidade antioxidante de proteger uma molécula-alvo contra danos oxidativos induzidos por radicais peróxila (Munteanu et al., 2021). Dessa forma, como esses ensaios se baseiam em diferentes mecanismos de reação, incluindo transferência de elétrons e/ou de átomos

de hidrogênio, a utilização combinada de diferentes métodos proporciona uma avaliação mais abrangente da capacidade antioxidante do que a aplicação de um único ensaio (Brand-Williams et al., 1995; Ou et al., 2001; Re et al., 1999; Shimizu et al., 2023).

Atividades antimicrobiana e anti-inflamatória

Extratos de casca apresentam atividade variável contra bactérias Gram-positivas e Gram-negativas, inclusive *Staphylococcus aureus* e *Acinetobacter baumannii*, e contra fungos dos gêneros *Aspergillus*, *Penicillium* e *Candida*. Compostos fenólicos, flavonoides, cafeína e ácidos clorogênicos podem alterar a permeabilidade da membrana microbiana e processos metabólicos; contudo, a espécie do café, o processamento, o solvente e a concentração influenciam fortemente a resposta (Khan; Ansari; Siddiqui, 2018; Vaher; Bragina, 2026).

Ácidos clorogênicos e flavonoides também podem modular vias inflamatórias, reduzindo o estresse oxidativo e a produção de mediadores como TNF- α , IL-1 β e IL-6. Embora esses mecanismos sejam compatíveis com resultados obtidos para compostos fenólicos de subprodutos do café, aplicações terapêuticas requerem extratos padronizados e confirmação em modelos biológicos adequados (Rebollo-Hernanz et al., 2019; Santana-Gálvez; Cisneros-Zevallos; Jacobo-Velázquez, 2017).

Potenciais antiparasitário, antiviral e anticâncer

As evidências antiparasitárias e antivirais específicas para a casca ainda são limitadas. Estudos com ácidos clorogênicos e flavonoides sugerem interferência em membranas, metabolismo energético, equilíbrio redox, entrada viral e replicação; porém, resultados de compostos isolados ou de outras matrizes não podem ser atribuídos automaticamente aos extratos de casca (Lu et al., 2020; Badshah et al., 2021; Nguyen et al., 2024; Pourfarzad; Gheibi; Maleki, 2024). A confirmação exige extratos quimicamente caracterizados e avaliações de eficácia, seletividade, mecanismo e segurança.

Extratos e constituintes da casca também foram associados à redução da viabilidade e da proliferação de células tumorais. Em células Caco-2, foi descrita atividade antioxidante acompanhada de efeitos pró-apoptóticos (Sulaiman; Nasir; Chong, 2021). Esses achados são preliminares e devem ser interpretados à luz da composição do extrato, da dose efetiva e da seletividade em relação às células não tumorais.

Bioatividade metabólica e potencial nutracêutico

Os ácidos clorogênicos têm sido associados à modulação da absorção de carboidratos, da sensibilidade à insulina e do metabolismo lipídico. A fibra alimentar, por sua vez, pode favorecer o trânsito intestinal, a saciedade e a microbiota, enquanto fenólicos ligados à matriz

fibrosa podem alcançar o cólon. Entretanto, evidências obtidas com compostos isolados ou café verde não demonstram, por si só, eficácia de produtos derivados da casca; são necessários estudos de biodisponibilidade e intervenção específicos (Farah et al., 2008; Meng et al., 2013; Janissen; Huynh, 2018).

Segurança e limitações

A utilização em alimentos, suplementos e produtos farmacêuticos requer caracterização química e toxicológica compatível com a exposição proposta (Magalhães et al., 2022; Meng et al., 2013). A cafeína deve ser quantificada porque o consumo excessivo pode causar insônia, ansiedade, irritabilidade e desconforto gastrointestinal (Temple et al., 2017). Em concentrações elevadas, taninos podem complexar proteínas e minerais e reduzir a biodisponibilidade de nutrientes (Samtiya et al., 2020). Também devem ser monitorados micotoxinas, resíduos de pesticidas e contaminantes microbiológicos. A baixa citotoxicidade observada para alguns extratos e concentrações não pode ser generalizada. Espécie, variedade, processamento, método de extração e composição alteram o perfil de segurança, e persistem lacunas sobre exposição crônica, genotoxicidade, toxicidade reprodutiva e interações medicamentosas (Monazzah et al. 2025). Além disso, a terminologia deve distinguir claramente casca, polpa, pergaminho e cascara, pois frações diferentes não são química ou toxicologicamente equivalentes.

Considerações finais

A casca do café reúne uma matriz lignocelulósica abundante e compostos bioativos que permitem integrar benefícios ambientais à geração de recursos. Seu aproveitamento pode reduzir o descarte de resíduos e os riscos de contaminação, ao mesmo tempo que viabiliza alimentos e ingredientes funcionais, extratos fenólicos, adsorventes, biocompósitos, condicionadores do solo e biocombustíveis. Entre as rotas disponíveis, a biorrefinaria integrada se destaca por recuperar sucessivamente compostos de maior valor e destinar as frações remanescentes à produção de materiais, energia ou insumos agrícolas. Apesar do potencial, a variabilidade química, a presença de cafeína e taninos e a predominância de evidências laboratoriais ainda limitam generalizações. O avanço comercial depende da identificação precisa das frações utilizadas, da padronização do processamento e dos extratos, de estudos de biodisponibilidade e segurança e de avaliações técnico-econômicas e de ciclo de vida. Atendidos esses requisitos, a casca poderá deixar de ser tratada como resíduo e consolidar-se como matéria-prima renovável em uma cadeia cafeeira mais circular e sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio institucional e financeiro concedido para o desenvolvimento desta pesquisa.

Referências

- ALI MA ET AL. 2025. Bioactive compounds in coffee husk: Extraction, functional properties, applications, and sustainable approach in circular economy. *RSC Sustain* 3(10):4410–4425. DOI: 10.1039/D5SU00531K.
- BADSHAH, S. L. et al. Antiviral activities of flavonoids. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, v. 139, p. 111596, 2021. DOI: 10.1016/j.biopha.2021.111596.
- BOJÓRQUEZ-QUINTAL E, XOTLANIHUA-FLORES D, BACCHETTA L, DIRETTO G, MACCIONI O, FRUSCIANTE S, ROJAS-ABARCA LM & SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ E. 2024. Bioactive compounds and valorization of coffee by-products from the origin: A circular economy model from local practices in Zongolica, Mexico. *Plants* 13(19):2741. DOI: 10.3390/plants13192741.
- BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, London, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. DOI: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- CANGUSSU LB, MELO JC, FRANCA AS & OLIVEIRA LS. 2021. Chemical characterization of coffee husks, a by-product of *Coffea arabica* production. *Foods* 10(12):3125. DOI: 10.3390/foods10123125.
- CRUZ FILHO IJ ET AL. 2024. *Clarisia racemosa*: Phytochemical characterization and biological activities: A brief literature review. *Sci Electron Arch* 17(2)
- EFSA – EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. 2022. Safety of dried coffee husk (cascara) from *Coffea arabica* L. as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J* 20(2):7085. DOI: 10.2903/j.efsa.2022.7085.
- FARAH, A.; MONTEIRO, M.; DONANGELO, C. M.; LAFAY, S. Chlorogenic acids from green coffee extract are highly bioavailable in humans. *The Journal of Nutrition*, v. 138, n. 12, p. 2309–2315, 2008. DOI: 10.3945/jn.108.095554.
- FURMAN, D. et al. Chronic inflammation in the etiology of disease across the life span. *Nature Medicine*, v. 25, p. 1822–1832, 2019. DOI: 10.1038/s41591-019-0675-0.
- GIL-GÓMEZ JA ET AL. 2024. Valorization of coffee by-products in the industry, a vision towards circular economy. *Discov Appl Sci* 6:480. DOI: 10.1007/s42452-024-06085-9.
- GONÇALVES BMM ET AL. 2020. Cellulose as potential composite reinforcement: Surface treatments of coffee husk fiber waste. *J Mater Res Technol* 9:9412–9421. DOI: 10.1016/j.jmrt.2020.05.099.
- IRIONDO-DEHOND A ET AL. 2020a. Effect of coffee cascara dietary fiber on the physicochemical, nutritional and sensory properties of a gluten-free bread formulation. *Molecules* 25(6):1358. DOI: 10.3390/molecules25061358.
- IRIONDO-DEHOND A ET AL. 2020b. Sensory acceptance, appetite control and gastrointestinal tolerance of yogurts containing coffee-cascara extract and inulin. *Nutrients* 12(3):627. DOI: 10.3390/nu12030627.
- IRIONDO-DEHOND A ET AL. 2020c. Assessment of healthy and harmful Maillard reaction products in a novel coffee cascara beverage: Melanoidins and acrylamide. *Foods* 9(5):620. DOI: 10.3390/foods9050620.
- JANISSEN, B.; HUYNH, T. Chemical composition and value-adding applications of coffee industry by-products: a review. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 128, p. 110–117, 2018. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.10.001.
- KAPPEL, C. et al. Chlorogenic compounds from coffee beans exert activity against respiratory viruses. *Planta Medica*, v. 82, n. 11/12, p. 985–994, 2016. DOI: 10.1055/s-0042-119449.
- KAUFFMANN AC, MEDEIROS PS, SILVA JR, GAI BM, JACINTO MJ & SILVA VCP. 2025. Bioactive compounds and antioxidant potential of *Rhamnidium elaeocarpum* (Rhamnaceae). *Sci Electron Arch* 18(3). DOI: 10.36560/18320252060
- KHAN, M. A.; ANSARI, H. R.; SIDDIQUI, M. A. Study of chemical components, bioactivity and antifungal properties of coffee husk. *Journal of Food Research*, v. 7, n. 4, p. 77-85, 2018.
- KLINGEL T, KREMER JI, GOTTSTEIN V, RAJCIC DE REZENDE T, SCHWARZ S & LACHENMEIER DW. 2020. A review of coffee by-products including leaf, flower, cherry, husk, silver skin, and spent grounds as novel foods within the European Union. *Foods* 9(5):665. DOI: 10.3390/foods9050665.
- LE BXN ET AL. 2024. Coffee husk by-product as novel ingredients for cascara kombucha production. *J Microbiol Biotechnol* 34(3):673–680. DOI: 10.4014/jmb.2310.10004.

- LIANG N, KITTS DD, WANG X, HU Z & SABIER M. 2025. Phenolic acid composition of coffee cascara in connection with antioxidant capacity: A geographic assessment. *Antioxidants* 14(5):502. DOI: 10.3390/antiox14050502.
- LU, H.; TIAN, Z.; CUI, Y.; LIU, Z.; MA, X. Chlorogenic acid: a comprehensive review of the dietary sources, processing effects, bioavailability, beneficial properties, mechanisms of action, and future directions. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, v. 19, n. 6, p. 3130–3158, 2020. DOI: 10.1111/1541-4337.12620.
- MAGALHÃES RHP, MENEZES FILHO ACP, VENTURA MVA, BATISTA-VENTURA HRF, CASTRO CFS & PORFIRO CA. 2022. Chemical profile and antioxidant, antibacterial, and cytotoxic activities on *Artemia salina* from the essential oil of leaves and xylopodium of *Cochlospermum regium*. *Sci Electron Arch* 15(1). DOI: 10.36560/15120221506.
- MENG, S.; CAO, J.; FENG, Q.; PENG, J.; HU, Y. Roles of chlorogenic acid on regulating glucose and lipids metabolism: a review. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, v. 2013, p. 801457, 2013. DOI: 10.1155/2013/801457.
- MONAZZAH M ET AL. 2025. Genotoxicity of coffee, coffee by-products, and coffee bioactive compounds: Contradictory evidence from in vitro studies. *Toxics* 13(5):409. DOI: 10.3390/toxics13050409
- MUNTEANU IG & APETREI C. 2021. Analytical methods used in determining antioxidant activity: A review. *Int J Mol Sci* 22(7):3380. DOI: 10.3390/ijms22073380.
- NEVES JVG ET AL. 2019. Total phenolic content and primary antioxidant capacity of aqueous extracts of coffee husk: Chemical evaluation and beverage development. *Food Sci Technol* 39(Suppl 1):348–353. DOI: 10.1590/fst.36018.
- NEVES, J. et al. Capacidade antioxidante e teor de fenólicos totais em extratos aquosos de grãos e cascas de café orgânico (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA, 55., 2015, Goiânia. Anais do 55º Congresso Brasileiro de Química. Goiânia: Associação Brasileira de Química, 2015. Disponível em: abq.org.br. Acesso em: 10 jun. 2026.
- NGUYEN, V. T. et al. Chlorogenic Acid: A Systematic Review on the Biological Functions, Mechanistic Actions, and Therapeutic Potentials. *Nutrients*, v. 16, n. 7, p. 924, 2024. DOI: 10.3390/nu16070924.
- OU, B.; HAMPSCH-WOODILL, M.; PRIOR, R. L. Development and validation of an improved oxygen radical absorbance capacity assay using fluorescein as the fluorescent probe. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 49, n. 10, p. 4619–4626, 2001. DOI: 10.1021/jf010586o.
- PELUSO M. 2023. Coffee by-products: Economic opportunities for sustainability and innovation in the coffee industry. *Proceedings* 89(1):6. DOI: 10.3390/ICC2023-14834.
- PONGSIRIYAKUL K ET AL. 2024. Upcycling coffee waste: Key industrial activities for advancing circular economy and overcoming commercialization challenges. *Processes* 12(12):2851. DOI: 10.3390/pr12122851.
- POURFARZAD, F.; GHEIBI, N.; MALEKI, P. Flavonoids antiviral effects: focusing on entry inhibition of influenza and coronavirus. *Journal of Infectious Diseases*, v. 31, n. 2, e153347, 2024. DOI: 10.5812/jid-153347.
- PUA A, CHOO WXD, GOH RMV, LIU SQ, CORNUZ M, EE KH, SUN J, LASSABLIERE B & YU B. 2021. A systematic study of key odourants, non-volatile compounds, and antioxidant capacity of cascara (dried *Coffea arabica* pulp). *LWT* 138:110630. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.110630.
- RE, R.; PELLEGRINI, N.; PROTEGGENTE, A.; PANNALA, A.; YANG, M.; RICE-EVANS, C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 26, n. 9–10, p. 1231–1237, 1999. DOI: 10.1016/S0891-5849(98)00315-3.
- REBOLLO-HERNANZ M, CAÑAS S, TALADRID D, BENÍTEZ V, BARTOLOMÉ B, AGUILERA Y & MARTÍN-CABREJAS MA. 2021. Revalorization of coffee husk: Modeling and optimizing the green sustainable extraction of phenolic compounds. *Foods* 10(3):653. DOI: 10.3390/foods10030653.
- REBOLLO-HERNANZ, M. et al. Phenolic compounds from coffee by-products modulate adipogenesis-related inflammation. *Food and Chemical Toxicology*, v. 132, p. 110678, 2019.
- RONIX A ET AL. 2017. Hydrothermal carbonization of coffee husk: Optimization of experimental parameters and adsorption of methylene blue dye. *J Environ Chem Eng* 5(5):4841–4849. DOI: 10.1016/j.jece.2017.08.035.
- RUSNAM, PUARI AT, YANTI NR & EFRIZAL. 2022. Utilisation of exhausted coffee husk as low-cost bio-sorbent for adsorption of Pb²⁺. *Trop Life Sci Res* 33(3):229–252. DOI: 10.21315/tlsr2022.33.3.12.

- SAMTIYA M, ALUKO RE & DHEWA T. 2020. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: An overview. *Food Prod Process Nutr* 2:6. DOI: 10.1186/s43014-020-0020-5.
- SANTANA-GÁLVEZ, J.; CISNEROS-ZEVALLOS, L.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A. Anti-inflammatory properties of chlorogenic acid. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, v. 57, n. 15, p. 3134–3146, 2017. DOI: 10.1080/10408398.2014.904777.
- SETTER C, SILVA FTM, ASSIS MR, ATAÍDE CH, TRUGILHO PF & OLIVEIRA TJP. 2020. Slow pyrolysis of coffee husk briquettes: Characterization of the solid and liquid fractions. *Fuel* 261:116420. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116420.
- SHIMIZU GD, VIDAL TCM, RIBEIRO JUNIOR WA, RIBEIRO LTM, CASTILHO IM, GONÇALVES LSA & SILVA JB. 2023. Antioxidant activity and chemical composition from different parts of pomegranate (*Punica granatum L.*) cultivars. *Sci Electron Arch* 16(4). DOI: 10.36560/16420231675.
- SILVA, M. et al. Obtaining bioactive compounds from the coffee husk (*Coffea arabica L.*) using different extraction methods. *Molecules Basel*, v. 26, n. 1, p. 46, 2021. DOI: 10.3390/molecules26010046. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules26010046>. Acesso em: 10 jun. 2026.
- SUGEBO B. 2022. A review on enhanced biofuel production from coffee by-products using different enhancement techniques. *Int J Energy Water Res* 7:65–83. DOI: 10.1007/s40243-022-00209-0.
- SULAIMAN, S. F.; NASIR, M. N.; CHONG, K. L. Antioxidant and pro-apoptosis activities of coffee husk (*Coffea arabica L.*) extract against Caco-2 colon cancer cells. *International Food Research Journal*, v. 28, n. 6, p. 1195–1203, 2021. DOI: 10.47836/ifrj.28.6.10.
- TAJIK, N. et al. The potential effects of chlorogenic acid on health: a review of the literature. *Pharmacological Research*, v. 123, p. 110–122, 2017. DOI: 10.1016/j.phrs.2017.05.013.
- TAMILSELVAN K ET AL. 2024. Sustainable valorisation of coffee husk into value added product in the context of circular bioeconomy: Exploring potential biomass-based value webs. *Food Bioprod Process* 145:187–202. DOI: 10.1016/j.fbp.2024.03.008.
- TEMPLE JL ET AL. 2017. The safety of ingested caffeine: A comprehensive review. *Front Psychiatry* 8:80. DOI: 10.3389/fpsy.2017.00080.
- TORRES-CASTILLO NE ET AL. 2021. Exploring the potential of coffee husk as caffeine bio-adsorbent: A mini-review. *Case Stud Chem Environ Eng* 3:100070. DOI: 10.1016/j.cscee.2020.100070.
- TSIGKOU K, DEMISSIE BA, HASHIM S, GHOFRANI-ISFAHANI P, THOMAS R, MAPINGA KF, KASSAHUN SK & ANGELIDAKI I. 2025. Coffee processing waste: Unlocking opportunities for sustainable development. *Renew Sustain Energy Rev* 210:115263. DOI: 10.1016/j.rser.2024.115263.
- VAHER, M.; BRAGINA, O. Coffee cascara as a source of natural antimicrobials: chemical characterization and activity against ESKAPE pathogens. *Molecules*, v. 31, n. 3, p. 403, 2026. DOI: 10.3390/molecules31030403.
- WOLDU AR ET AL. 2024. Extraction and characterization of cellulose from coffee husk and brewery's spent grain fibers using alkali-hydrogen peroxide treatment method. *Int J Polym Sci* 2024:5101871. DOI: 10.1155/2024/5101871.
- ZHANG J, SUN X, LIU P, ZHANG T, JELDERKS JA & CORKE H. 2022. Preliminary characterization of phytochemicals and polysaccharides in diverse coffee cascara samples: Identification, quantification and discovery of novel compounds. *Foods* 11(12):1710. DOI: 10.3390/foods11121710.