METABOLÔMICA EM *Coffea arabica* L.: UMA REVISÃO NARRATIVA

Gilvana de Oliveira Costa[1], Andriele Bernabe Vettorazzi Vieira[1], João Victor Andrade[1], Leonardo Demier Cardoso[2], Mário Ferreira Conceição Santos[1]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n - Guararema - 29500-000 - Alegre - ES, Brasil, oliveiragil999@gmail.com, vettorazziandriele27@gmail.com, joaovictorandrade927@gmail.com, mario.f.santos@ufes.br.
[2]Instituto Federal do Espírito Santo, Rua Augusto Costa de Oliveira, 660, Centro – 29285-000 – Piúma - ES, Brasil, leonardo.demier@ifes.edu.br.

Resumo
A metabolômica tem se destacado como uma importante ferramenta para estudos relacionados à caracterização química e fisiológica de *Coffea arabica*. O presente trabalho teve como objetivo revisar estudos sobre a aplicação da metabolômica em *C. arabica*, destacando plataformas analíticas, tecidos vegetais investigados e principais aplicações. Trata-se de uma revisão narrativa de literatura realizada a partir de artigos publicados entre 2016 e 2026 disponíveis no portal Periódicos CAPES. Foram analisados 33 trabalhos, nos quais observou-se que a maioria das pesquisas se concentrou em grãos. As plataformas analíticas mais comuns encontradas foram GC-MS, LC-MS e NMR. Em menor proporção, também foram encontrados estudos envolvendo folhas, raízes, flores, casca e polpa. Os metabólitos mais mencionados foram cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos e compostos voláteis. De maneira geral, os estudos evidenciam a capacidade da metabolômica em aplicações direcionadas à qualidade e caracterização química do café.
Palavras-chave: Metabólitos. Café arábica. GC-MS. LC-MS. NMR.

Área do Conhecimento: Ciências Biológicas – Bioquímica.

Introdução

O café se destaca como uma das *commodities* agrícolas de maior relevância econômica mundial, apresentando elevada importância social, comercial e cultural em diversos países produtores. Entre as espécies cultivadas, *Coffea arabica* é especialmente valorizada pela qualidade sensorial da bebida, associada principalmente ao aroma, sabor e composição química dos grãos. Diversos fatores influenciam a qualidade do café, como genótipo, condições ambientais, manejo agrícola e processamento pós-colheita (Meoni *et al*., 2021; Shen *et al*., 2023).

Nesse contexto, as ciências ômicas vem tendo papel significativo para a compreensão dos mecanismos biológicos e bioquímicos das plantas. Entre essas abordagens, a metabolômica se destaca por permitir o reconhecimento e a caracterização de diversos metabólitos presentes em um organismo, fornecendo dados importantes sobre sua constituição química, respostas fisiológicas e interação com fatores ambientais (Pérez-Míguez *et al*., 2020; Fahmi; Happyana, 2025).

Em *C. arabica*, a metabolômica tem sido usada para investigar metabólitos relacionados à qualidade sensorial, fermentação, processamento pós-colheita, respostas a estresses e caracterização química de diferentes materiais vegetais (Galarza; Figueroa, 2022; Tantapakul *et al*., 2023; Chekol *et al*., 2024).

Assim, o presente trabalho buscou analisar estudos sobre o uso da metabolômica em *C. arabica*, ressaltando as principais plataformas analíticas utilizadas, os tecidos vegetais investigados e as aplicações voltadas à qualidade, fisiologia e caracterização química do café.

Metodologia

Este estudo apresenta uma revisão narrativa de literatura, de abordagem qualitativa e descritiva, baseada na análise de estudos relacionados à metabolômica em *C. arabica*. O propósito desta revisão foi identificar as principais aplicações da metabolômica, os tecidos vegetais investigados, as ferramentas analíticas utilizadas e as tendências recentes na área.

A pesquisa bibliográfica foi realizada nas bases de dados Periódicos CAPES, considerando publicações de 2016 a 2026. Foram incluídos artigos científicos originais, de acesso aberto, publicados em inglês, português e espanhol, com análises metabolômicas focadas exclusivamente em *C. arabica*.

As buscas foram realizadas com uso das palavras-chave "*Coffea arabica metabolomics*", "*arabica coffee metabolome*", "*coffee metabolomics*", "*GC-MS Coffea arabica*", "*LC-MS Coffea arabica*", "*metabolic profiling Coffea arabica*" e "*untargeted metabolomics coffee*".

Foram incluídos trabalhos que examinaram diferentes tecidos da planta, como grãos, folhas, frutos, casca e polpa. Foram excluídos trabalhos que incluíam outras espécies do gênero *Coffea*, revisões de literatura, resumos de eventos, capítulos de livros e estudos sem abordagem metabolômica completa.

Após a triagem, os artigos foram analisados quanto ao objetivo do estudo, tecido vegetal avaliado, plataforma analítica utilizada (GC-MS, LC-MS, NMR, entre outras), principais metabólitos identificados e aplicações da metabolômica relacionadas à qualidade do café, fisiologia vegetal, resposta a estresses e caracterização bioquímica.

Resultados

Após a triagem, foram analisados 33 estudos. A revisão desses trabalhos evidenciou o aumento recente no uso da metabolômica em *C. arabica*, sobretudo em trabalhos relacionadas à qualidade da bebida, fermentação, processamento pós-colheita e caracterização química dos grãos (Meoni *et al*., 2021; Shen *et al*., 2023; Tantapakul *et al*., 2023). As plataformas analíticas predominantes utilizadas foram GC-MS, LC-MS e NMR (Lestari *et al*., 2022; Shen *et al*., 2023; Fahmi; Happyana, 2025). A caracterização geral dos estudos selecionados está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Estudos incluídos na revisão.

Autor	Ano de publicação	Tecido	Plataforma analítica	Aplicação principal
Arana *et al.*	2016	Grão	GC-C-IRMS, GC-MS e ^{1}H NMR	Classificação
Guizellini *et al.*	2018	Grão verde	HPLC-DAD	Perfil metabólico
Pérez-Míguez *et al.*	2018	Grão torrado	RP-LC-MS	Torra
Marcheafave *et al.*	2019	Folha	^{1}H NMR	Estresse
Ngamsuk; Huang; Hsu	2019	Folha	HPLC e LC-MS	Antioxidantes
Esquivel *et al.*	2020	Polpa e casca	HPLC-DAD-ESI-MS e GC-MS	Carotenoides e compostos fenólicos
Pérez-Míguez *et al.*	2020	Grão torrado	HILIC-MS	Torra
Happyana; Pratiwi; Hakim	2021	Grão verde	^{1}H NMR	Perfil metabólico
Meoni *et al.*	2021	Grão	^{1}H NMR	Pós-colheita
Galarza; Figueroa	2022	Grão	SPME-GC-MS	Fermentação
Lestari *et al.*	2022	Polpa e casca	GC-MS	Armazenamento
Rosso *et al.*	2022	Grão verde	UHPLC/QTOF	Precursores do aroma
Shen *et al.*	2022	Folha e flor	GC-MS e HPLC-MS	Compostos bioativos
Chialva *et al.*	2023	Raiz e folha	GC-TOF-MS e LC-ESI-MS	Micorrizas
Hu *et al.*	2023	Casca	UPLC-MS/MS	Cor do fruto
Shen *et al.*	2023	Grão torrado	GC-MS e LC-MS/MS	Processamento
Tantapakul *et al.*	2023	Grão	LC-MS/MS	Pós-colheita
Wan *et al.*	2023	Casca	HS-SPME-GC-MS e PTR-TOF-MS	Compostos voláteis
Chekol *et al.*	2024	Folha	GC-MS	Estresse hídrico
Hamdani; Happyana	2024	Grão verde	^{1}H NMR	Perfil metabólico
Shen *et al.*	2024	Grão	UPLC-MS/MS e GC-MS	Fermentação

Autor	Ano de publicação	Tecido	Plataforma analítica	Aplicação principal
Vale *et al.*	2024	Grão	HPLC e GC-MS	Influência microbiana no sabor
Zhai *et al.*	2024	Grão	UPLC-Q-TOF-MS	Processamento
Carréra *et al.*	2025	Folha	GC-MS	Perfil metabólico
Cruz *et al.*	2025	Folha	GC-MS	Inseticidas
Fahmi; Happyana	2025	Grão verde	^{1}H NMR	Diferenciação
Hu *et al*.	2025	Grão torrado	1D NMR e LC-MS/MS	Diterpenos
Mangiwa; Happyana; Rusli	2025	Grão verde	^{1}H NMR	Perfil metabólico e atividade antioxidante
Tene; Natarajan	2025	Grão	GC-MS	Pós-colheita
Wongyai *et al.*	2025	Grão	GC-MS/MS	Fermentação
Madrid-Restrepo *et al.*	2026	Grão	RP-LC-MS-QTOF, HILIC-LC-MS-QTOF e GC-MS-QTOF	Fermentação
Pereira *et al.*	2026	Grão	IC-PAD e HPLC-RID	Fermentação
Rovelli *et al.*	2026	Folha	UHPLC-TWIMS-HRMS	Caracterização química foliar

Fonte: elaborado pelos autores.

Os trabalhos selecionados abordaram diferentes tecidos vegetais, com predominância de análises em grãos, tanto verdes quanto torrados. Os trabalhos focados em grãos se concentraram principalmente na avaliação de compostos relacionados ao aroma, sabor, qualidade sensorial, fermentação e influência do processamento pós-colheita (Galarza; Figueroa, 2022; Zhai *et al*., 2024; Mangiwa; Happyana; Rusli, 2025). Também foram observados estudos voltados à diferenciação entre cultivares, identificação de compostos bioativos e descrição química comparada (Arana *et al*., 2016; Hu *et al*., 2023).

Em menor número, foram encontrados estudos que analisaram folhas, flores, raízes, casca e polpa. Nestes trabalhos, a metabolômica foi aplicada principalmente para investigar as respostas fisiológicas ao estresse abiótico, atividade antioxidante, interação com microrganismos e caracterização de compostos fenólicos e bioativos (Marcheafave *et al*., 2019; Ngamsuk; Huang; Hsu, 2019; Shen *et al*., 2022; Chialva *et al*., 2023; Chekol *et al*., 2024; Carréra *et al*., 2025; Rovelli *et al*., 2026).

Os metabólitos mais citados foram cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, compostos fenólicos, diterpenos, açúcares, lipídios e compostos voláteis (Ngamsuk; Huang; Hsu, 2019; Rosso *et al*., 2022; Hu *et al*., 2025). Notou-se também o aumento no uso de abordagens integradas envolvendo metabolômica, metagenômica e quimiometria, especialmente em estudos sobre a fermentação e a formação de aroma em cafés especiais (Vale *et al*., 2024; Pereira *et al*., 2026; Madrid-Restrepo *et al*., 2026).

Discussão

Os resultados evidenciam que a metabolômica aplicada a *C. arabica* foca intensamente na avaliação da qualidade da bebida e processamento pós-colheita. A predominância de pesquisas realizadas em grãos verdes e torrados demonstra o interesse comercial associado aos atributos sensoriais do café, especialmente aroma, sabor e composição química. Nesse contexto, técnicas como GC-MS e LC-MS são frequentemente utilizadas, devido à sua alta capacidade na detecção de compostos voláteis e metabólitos bioativos relacionados à qualidade do produto final (Pérez-Míguez *et al*., 2020; Shen *et al*., 2023; Tantapakul *et al*., 2023).

O uso cada vez mais comum de análises relacionadas à fermentação, torra e métodos de processamento sugere a tendência recente de aplicação da metabolômica para agregar valor a cafés especiais e na compreensão das mudanças químicas que ocorrem no pós-colheita. A integração da metabolômica com análises microbiológicas, como observada em alguns estudos, aponta para o avanço metodológico significativo na compreensão das interações entre microrganismos e a formação do perfil sensorial do café (Vale *et al*., 2024; Pereira *et al*., 2026; Madrid-Restrepo *et al*., 2026).

Embora a área tenha crescido, notou-se baixa diversidade de tecidos vegetais estudados. Em comparação com os estudos realizados em grãos, as pesquisas envolvendo folhas, raízes e flores ainda são pouco representativas na literatura. Essa limitação impede a compreensão mais ampla e integrada do metabolismo de *C. arabica*, particularmente no que diz respeito aos mecanismos fisiológicos associados ao crescimento vegetal, à adaptação ambiental e às respostas a estresses bióticos e abióticos (Marcheafave *et al*., 2019; Chialva *et al*., 2023; Chekol *et al*., 2024).

Outro ponto em destaque é o crescente interesse em explorar subprodutos do café, como casca e polpa, apontando para o potencial desses materiais como fontes de compostos bioativos e metabólitos de interesse industrial (Esquivel *et al*., 2020; Lestari *et al*., 2022). Isso destaca o papel da metabolômica, não apenas na análise da qualidade da bebida, mas também em iniciativas que promovem a sustentabilidade e valorização integral da cadeia produtiva do café.

De modo geral, os estudos revisados indicam que a metabolômica é uma ferramenta promissora para a caracterização química e fisiológica de *C. arabica*. Contudo, é necessário realizar estudos integrativos que envolvam diferentes tecidos vegetais e abordagens multiômicas, para que se possa enriquecer a compreensão metabólica da espécie e suas respostas a diferentes condições ambientais e de manejo.

Conclusão

Os estudos revisados evidenciam que a metabolômica tem sido amplamente utilizada em pesquisas sobre *C. arabica*, com especial foco na qualidade sensorial, fermentação e processamento pós-colheita dos grãos. As plataformas analíticas mais comuns foram GC-MS, LC-MS e NMR, que se destacaram na caracterização de metabólitos relacionados ao aroma, sabor e composição química do café.

Verificou-se a predominância de pesquisas realizadas em grãos verdes e torrados, enquanto análises em outros tecidos vegetais, como folhas, raízes e flores, ainda são uma parte pequena da literatura existente. Isso mostra a necessidade de pesquisas mais integrativas que busquem compreender de maneira sistêmica o metabolismo de *C. arabica*, especialmente em relação às respostas fisiológicas e ambientais da espécie.

Além disso, a crescente adoção de técnicas de fermentação, microbiologia e aproveitamento de subprodutos evidencia o aumento nas aplicações da metabolômica na cadeia produtiva do café, contribuindo tanto para a valorização da qualidade da bebida quanto para perspectivas relacionadas à sustentabilidade e inovação tecnológica.

Referências

ARANA, V. A. *et al*. Classification of Coffee Beans by GC-C-IRMS, GC-MS, and H-1-NMR. **J. Anal. Methods Chem.**, v. 2016, p. 8564584, 2016.

CARRÉRA, J. C. *et al.* Non-targeted metabolomic analysis of field-grown *Coffea arabica* cultivars reveals distinct leaf metabolic signatures**. Theor. Exp. Plant Physiol.**, v. 37, n. 1, p. 27, 2025.

CHEKOL, H. *et al*. Drought stress responses in arabica coffee genotypes: Physiological and metabolic insights. **Plants**, v. 13, n. 6, p. 828, 2024.

CHIALVA, M. *et al*. The mycorrhizal root-shoot axis elicits *Coffea arabica* growth under low phosphate conditions. **New Phytol.**, v. 239, n. 1, p. 271-285, 2023.

CRUZ, C. G. *et al*. Insecticide-Induced Perturbations in Sugar Metabolism and Alkaloid Biosynthesis in *Coffea arabica* (L.) Seedlings. **ACS Agric. Sci. Technol.**, v. 5, n. 11, p. 2152-2165, 2025.

ESQUIVEL, P. *et al*. Coffee (*Coffea arabica* L.) by-products as a source of carotenoids and phenolic compounds—Evaluation of varieties with different peel color. **Front. Sustain. Food Syst.**, v. 4, p. 590597, 2020.

FAHMI, S. S.; HAPPYANA, N. Discriminating Green Beans of Puntang Arabica Coffees with 1H NMR Based-Metabolomics. **J. Kim. Valensi**, v. 11, n. 1, p. 1-8, 2025.

GALARZA, G.; FIGUEROA, J. G. Volatile compound characterization of coffee (*Coffea arabica*) processed at different fermentation times using SPME–GC–MS. **Molecules**, v. 27, n. 6, p. 2004, 2022.

GUIZELLINI, F. C. *et al*. PARAFAC HPLC-DAD metabolomic fingerprint investigation of reference and crossed coffees. **Food Res. Int.**, v. 113, p. 9-17, 2018.

HAMDANI, A.; HAPPYANA, N. Metabolite Profiles of Sukabumi Arabica Green Coffee Beans Evaluated by 1H NMR-Based Metabolomics. **Molekul**, v. 19, n. 1, p. 66-75, 2024.

HAPPYANA, N.; PRATIWI, A.; HAKIM, E. H. Metabolite profiles of the green beans of Indonesian Arabica coffee varieties. **Int. J. Food Sci.**, v. 2021, n. 1, p. 5782578, 2021.

HU, F. *et al*. Comparative metabolome profiles and antioxidant potential of four *Coffea arabica* L. varieties differing in fruit color. **Diversity**, v. 15, n. 6, p. 724, 2023.

HU, G. *et al*. Bioactive oriented discovery of diterpenoids in *Coffea arabica* basing on 1D NMR and LC-MS/MS molecular network. **Beverage Plant Res.**, v. 5, n. 1, 2025.

LESTARI, W. *et al*. Metabolite signature of fresh and long-term stored coffee pulp and husk. **Makara J. Sci.**, v. 26, n. 3, p. 8, 2022.

MADRID-RESTREPO, M. A. *et al*. Metagenomic, metabolomic, and sensorial characteristics of fermented *Coffea arabica* L. var. Castillo beans inoculated with microbial starter cultures. **mSystems**, v. 11, n. 1, p. e01364-25, 2026.

MANGIWA, S.; HAPPYANA, N.; RUSLI, H. 1H NMR metabolic profiling and antioxidant activity of Papua Arabica green coffee beans. **Food Chem. Adv.**, v. 9, p. 101131, 2025.

MARCHEAFAVE, G. G. *et al*. Integrated chemometric approach to optimize sample preparation for detecting metabolic changes provoked by abiotic stress in *Coffea arabica* L. leaf fingerprints. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 30, n. 10, p. 2085-2094, 2019.

MEONI, G. *et al*. Phenotyping green and roasted beans of Nicaraguan coffea Arabica varieties processed with different post-harvest practices. **Appl. Sci.**, v. 11, n. 24, p. 11779, 2021.

NGAMSUK, S.; HUANG, T. C.; HSU, J. L. Determination of phenolic compounds, procyanidins, and antioxidant activity in processed *Coffea arabica* L. leaves. **Foods**, v. 8, n. 9, p. 389, 2019.

PEREIRA, G. V. M. *et al*. Integrated microbial–metabolomic analysis reveals how fermentation contributes to the unique flavor of African Arabica coffee. **Food Chem. Mol. Sci.** v.12, p. 100344, 2026.

PÉREZ-MÍGUEZ, R. *et al*. A non-targeted metabolomic approach based on reversed-phase liquid chromatography–mass spectrometry to evaluate coffee roasting process. **Anal. Bioanal. Chem.**, v. 410, n. 30, p. 7859-7870, 2018.

PÉREZ-MÍGUEZ, R. *et al*. Untargeted HILIC-MS-based metabolomics approach to evaluate coffee roasting process: contributing to an integrated metabolomics multiplatform. **Molecules**, v. 25, n. 4, p. 887, 2020.

ROSSO, M. *et al.* Identification of new glycosidic terpenols and norisoprenoids (aroma precursors) in *C. arabica* L. green coffee by using a high-resolution mass spectrometry database developed in grape metabolomics. **Curr. Res. Food Sci.**, v. 5, p. 336-344, 2022.

ROVELLI, D. *et al.* Unveiling the chemical profile of Sicilian *Coffea arabica* L. leaves. **Future Foods**, v. 13, p. 100880, 2026.

SHEN, X. *et al*. Comparison of chemical compositions, antioxidant activities, and acetylcholinesterase inhibitory activities between coffee flowers and leaves as potential novel foods. **Food Sci. & Nutr.**, v. 11, n. 2, p. 917-929, 2022.

SHEN, X. *et al*. Effects of different primary processing methods on the flavor of *Coffea arabica* beans by metabolomics. **Fermentation**, v. 9, n. 8, p. 717, 2023.

SHEN, X. *et al*. Effect of Fermentation Duration on the Chemical Compounds of *Coffea arabica* from Ultra Performance Liquid Chromatography–Triple Quadrupole Mass Spectrometry and Gas Chromatography–Mass Spectrometry Analysis During the Washed Processing. **Fermentation**, v. 10, n. 11, p. 560, 2024.

TANTAPAKUL, C. *et al*. Potential of Arabica coffee beans from Northern Thailand: Exploring antidiabetic metabolites through liquid chromatography with tandem mass spectrometry (LC-MS/MS) metabolomic profiling across diverse postharvest processing techniques. **Foods**, v. 12, n. 21, p. 3893, 2023.

TENE, S. T.; NATARAJAN, V. Influence of Post-Harvest Treatments on Antioxidant Potential and Metabolomics Profile of Coffee Beans. **Future Postharvest Food**, v. 2, n. 4, p. 458-473, 2025.

VALE, A. S. *et al.* Exploring microbial influence on flavor development during coffee processing in humid subtropical climate through metagenetic–metabolomics analysis. **Foods**, v. 13, n. 12, p. 1871, 2024.

WAN, L. *et al*. Applying HS-SPME-GC-MS combined with PTR-TOF-MS to analyze the volatile compounds in coffee husks of *Coffea arabica* with different primary processing treatments in Yunnan. **Lwt**, v. 191, p. 115675, 2023.

WONGYAI, I. *et al*. Characteristic and flavor profiles of specialty Arabica coffee derived from fermentation with protease, at different conditions. **E3S Web Conf**., v. 610, p. 02005, 2025.

ZHAI, H. *et al*. Integration of widely targeted metabolomics and the e-tongue reveals the chemical variation and taste quality of Yunnan Arabica coffee prepared using different primary processing methods. **Food Chem.: X**, v. 22, p. 101286, 2024.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento da Universidade Federal do Espírito Santo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.