CONTRIBUIÇÃO DE VARIÁVEIS QUÍMICAS E SENSORIAIS PARA A QUALIDADE DA BEBIDA DE *Coffea canephora*

Autores: Mariana Lugon Dutra Marques, Lidiane dos Santos Gomes Oliveira, Matheus Alves Silva, Ramon Azevedo Braz, Márcia Flores da Silva Ferreira, Adésio Ferreira.

Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, Guararema – 29500-000 – Alegre- ES, Brasil, autor1 mariana.lugon@outlook.com, autor2 lidianegomes31@gmail.com, autor 3 alvesmatheus21@gmail.com

Resumo

Objetivou-se identificar quais variáveis químicas e sensoriais mais contribuem para explicar a pontuação final de qualidade de genótipos de *Coffea canephora*. Foram avaliados 16 genótipos quanto aos teores de cafeína e trigonelina e aos atributos sensoriais fragrância/aroma, sabor e sabor residual, além da pontuação final da bebida. A relação entre essas variáveis foi analisada por regressão por Mínimos Quadrados Parciais, com dois componentes e validação cruzada. Os dois primeiros componentes explicaram 90,65% da variação das variáveis avaliadas, sendo 87,12% atribuídos ao primeiro componente e 3,53% ao segundo. O modelo explicou 86,42% da variação da pontuação final e apresentou acurácia preditiva de 0,93 entre os valores observados e preditos. Com base no índice de importância da variável na projeção, o sabor residual e a cafeína apresentaram maior contribuição para explicar a pontuação final, enquanto fragrância/aroma, sabor e trigonelina tiveram menor importância relativa. Conclui-se que o sabor residual e o teor de cafeína são as variáveis de maior relevância para explicar a qualidade final dos genótipos avaliados, evidenciando a contribuição conjunta de características sensoriais e químicas na discriminação da qualidade da bebida.

Palavras-chave: Cafeína; Análise sensorial; Mínimos Quadrados Parciais.

Área do Conhecimento: Ciência Agrárias

Introdução

A qualidade da bebida de *Coffea canephora* constitui um atributo de elevada importância econômica, uma vez que influencia a classificação, a valorização e a aceitação do produto no mercado. Essa qualidade resulta da interação entre fatores genéticos, ambientais e tecnológicos, incluindo o estádio de maturação dos frutos, as condições de cultivo, o processamento pós-colheita e a torrefação (COSTA NETO et al., 2020; PEREIRA et al., 2021). Nesse contexto, a identificação e a seleção de genótipos com características químicas e sensoriais desejáveis representam estratégias importantes para atender às exigências crescentes do mercado de cafés de qualidade e agregar valor ao produto (FERNANDES et al., 2020).

A composição química dos grãos exerce influência direta sobre a formação das características sensoriais da bebida. Entre os principais constituintes do café cru destacam-se cafeína, trigonelina, ácidos clorogênicos, açúcares e lipídios, compostos associados a atributos como amargor, acidez, aroma, sabor e corpo da bebida (BOLKA; SHIMELIS, 2020; HALL et al., 2022; ZHANG; SPEAKMAN, 2024). A cafeína está particularmente relacionada ao amargor, enquanto a trigonelina participa da formação de compostos de aroma durante a torrefação. Dessa forma, diferenças na composição química entre genótipos podem contribuir para a expressão de perfis sensoriais distintos.

Durante a torrefação, transformações químicas, como as reações de Maillard, a degradação de Strecker e a degradação da trigonelina, promovem a formação de numerosos compostos voláteis responsáveis pela complexidade aromática do café (MEIRELES et al., 2022; JEONG et al., 2023). Entre esses compostos encontram-se fenóis, aldeídos, cetonas, álcoois, ésteres, ácidos orgânicos e pirazinas, que contribuem de maneira distinta para características como aroma, sabor e sabor residual

(DIPPONG et al., 2022; RUSINEK et al., 2022). Assim, a qualidade final da bebida resulta da integração entre a composição química dos grãos e a percepção dos diferentes atributos durante a avaliação sensorial.

A avaliação sensorial, realizada por meio de protocolos padronizados, permite caracterizar atributos como fragrância/aroma, sabor, sabor residual, acidez/salinidade, sensação na boca, balanço e nota geral, possibilitando a classificação da qualidade e a identificação de materiais superiores. Em C. canephora, cafés que alcançam pontuações elevadas podem ser enquadrados em categorias de maior qualidade, ampliando seu potencial de valorização comercial (LOPES et al., 2021; ZAREBSKA et al., 2022). Entretanto, os atributos avaliados e os componentes químicos não necessariamente contribuem com a mesma intensidade para a pontuação final da bebida, tornando relevante identificar quais variáveis apresentam maior associação com a qualidade global.

Diante disso, compreender conjuntamente a composição química e os atributos sensoriais pode contribuir para a caracterização e seleção de genótipos de *C. canephora* com maior potencial para produção de cafés de qualidade. Assim, objetivou-se identificar quais variáveis químicas e sensoriais mais contribuem para explicar a pontuação final de qualidade de genótipos de *Coffea canephora.*

Metodologia

Foram avaliados 16 genótipos de café, sem repetição, quanto aos atributos sensoriais e à composição química de cafeína e trigonelina. A avaliação sensorial foi conduzida por quatro avaliadores Q Robusta Graders, em cinco xícaras por amostra, utilizando concentração de 8,75 g de café moído em 150 mL de água (HETZEL, 2011). A infusão foi realizada a 93 °C, iniciando-se a degustação quando a temperatura atingiu 55 °C, respeitando-se o intervalo de quatro minutos após a infusão. A avaliação seguiu o protocolo Fine Robusta Standards and Protocols, proposto pelo Coffee Quality Institute/Ugandan Coffee Development Authority (CQI/UCDA) (HETZEL, 2011), contemplando os atributos fragrância/aroma, sabor, sabor residual, acidez/salinidade, sensação na boca, balanço, uniformidade, xícara limpa, amargor/doçura e nota geral, cada um pontuado em escala máxima de 10 pontos. A soma das pontuações, subtraída de eventuais defeitos leves ou graves, resultou na pontuação final, utilizada para classificação da qualidade do café conforme a chave de descrição do CQI/UCDA (HETZEL, 2011).

Para verificar a relação entre a composição química (cafeína e trigonelina) e os atributos sensoriais fragrância/aroma, sabor e sabor residual com a pontuação final, foi ajustado um modelo de regressão por Mínimos Quadrados Parciais, utilizando o pacote pls.

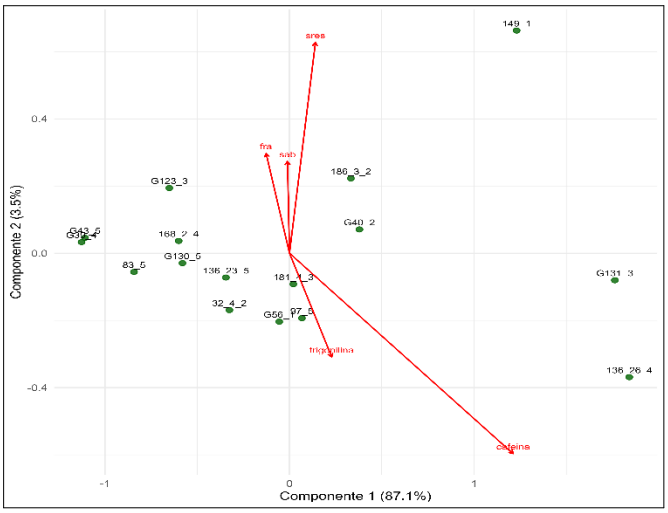
O modelo foi ajustado com dois componentes, para avaliar sua capacidade preditiva e evitar o superajuste aos dados, foi realizada validação cruzada, simulando seu desempenho diante de amostras novas. O desempenho preditivo foi expresso pelo erro médio de previsão (RMSEP) e pela acurácia do modelo, obtida pela correlação entre os valores observados e os valores preditos de pontuação final. A importância de cada variável preditora foi avaliada por meio do índice VIP (Índice de Importância da Variável na Projeção), sendo consideradas relevantes as variáveis com VIP superior a 1. A representação gráfica dos escores e pesos do modelo foi obtida por meio de biplot, gerado com o pacote ggplot2. Todas as análises foram conduzidas utilizando o software R (R CORE TEAM, 2025).

Para a determinação da composição química, foram obtidos extratos aquosos a partir de 5 g de café moído, submetidos à extração com água ultrapura a aproximadamente 100 °C, conforme metodologia de Do Carmo et al. (2022), com modificações. Após filtração, os extratos foram analisados em triplicata por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (CLAE), utilizando cromatógrafo Shimadzu equipado com coluna de fase reversa C18 e detector UV/Visível. A separação foi realizada com fase móvel composta por metanol, água e ácido acético na proporção de 20:80:1, fluxo de 1,0 mL min^{-1}, volume de injeção de 20 µL e temperatura de 30 °C. A detecção foi realizada a 272 nm para cafeína e 260 nm para trigonelina, conforme Viencz et al. (2023). A identificação dos compostos foi baseada nos tempos de retenção e nos espectros UV, e a quantificação foi realizada por padronização externa utilizando curvas analíticas de seis pontos, nos intervalos de 10 a 60 µg mL^{-1} para cafeína e de 1 a 30 µg mL^{-1} para trigonelina.

Resultados

O modelo de regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS), ajustado com os teores de cafeína e trigonelina e os atributos fragrância/aroma, sabor e sabor residual como variáveis preditoras, apresentou elevada capacidade de síntese da variação conjunta dos dados. Os dois primeiros componentes explicaram 90,65% da variação total das variáveis analisadas, sendo 87,12% atribuídos ao primeiro componente e 3,53% ao segundo (Figura 1).

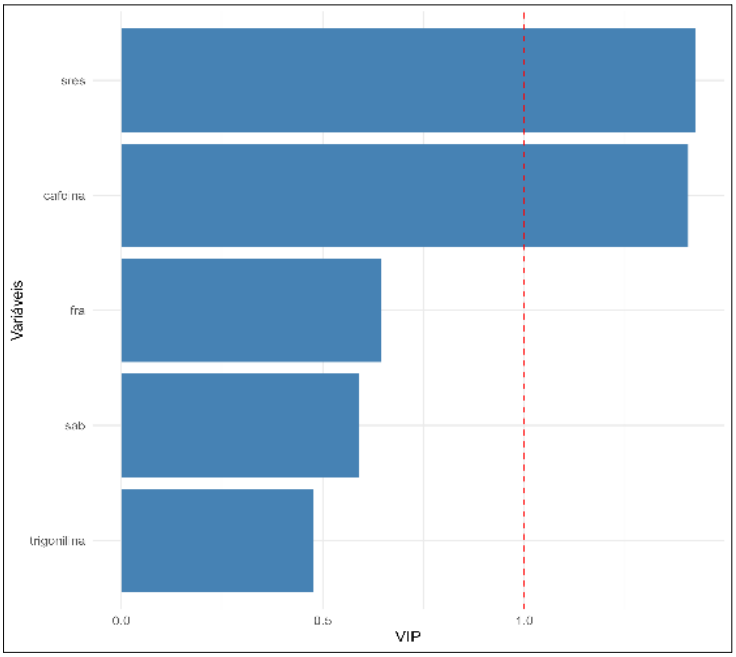
Figura 1- Biplot do modelo de regressão por Mínimos Quadrados Parciais (PLS) para variáveis químicas e sensoriais associadas à pontuação final de genótipos de ***Coffea canephora***.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Considerando a pontuação final como variável resposta, o modelo explicou 86,42% de sua variação. Entre as cinco variáveis preditoras, sabor residual e cafeína apresentaram maior importância para a explicação da pontuação final, com valores de VIP superiores aos observados para fragrância/aroma, sabor e trigonelina (Figura 2). Esses resultados indicam maior contribuição relativa dessas duas variáveis para a discriminação da qualidade da bebida entre os genótipos avaliados.

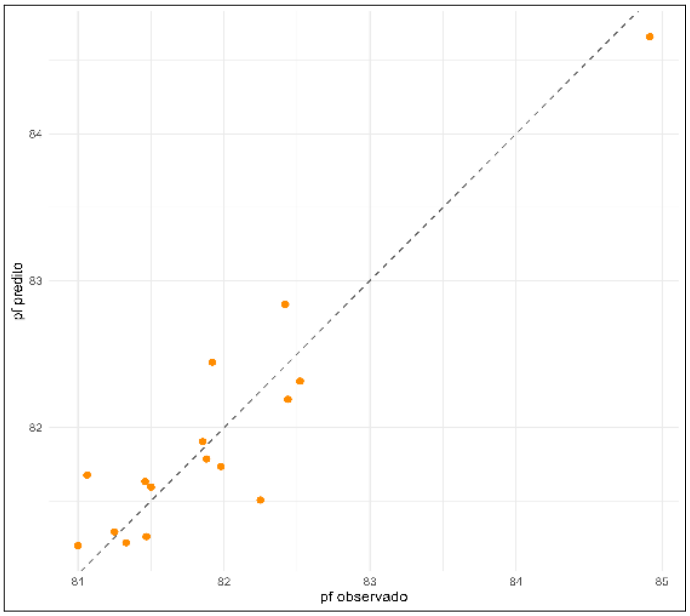
Figura 2- Variáveis preditoras (VIP) no modelo PLS



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

O modelo também apresentou elevada concordância entre os valores observados e preditos da pontuação final, com correlação de 0,93. Os valores preditos permaneceram próximos à linha de concordância entre observado e predito, evidenciando bom desempenho preditivo do modelo para o conjunto de dados analisado (Figura 3).

Figura 3- Valores observados e preditos da pontuação final pelo modelo PLS.



Fonte: Elaborada pelos autores (2026).

Discussão

A relevância do teor de cafeína e do sabor residual no modelo PLS reforça a contribuição conjunta da composição química e dos atributos sensoriais para a diferenciação da qualidade da bebida entre os genótipos de *Coffea canephora* avaliados. Orpong et al. (2025) observaram que os teores de cafeína variam em função de fatores genéticos, ambientais, geográficos e de processamento, estando esses compostos diretamente associados a características sensoriais como amargor, acidez e adstringência.

No presente estudo, a cafeína apresentou maior importância relativa que a trigonelina, assim como o sabor residual destacou-se entre os atributos sensoriais, sobressaindo-se frente a fragrância/aroma e sabor para explicar a pontuação final da bebida. Contudo, a relevância da cafeína no modelo não implica que maiores concentrações desse composto resultem necessariamente em maior qualidade. Tieghi et al. (2024), ao integrarem informações químicas e sensoriais por meio de análises multivariadas, destacaram que a cafeína não constitui um indicador direto de qualidade, observando, em determinadas condições de processamento, associação entre menores concentrações do alcaloide e melhores características sensoriais.

Assim, embora a cafeína atue como uma variável discriminante crucial, seu efeito sobre a qualidade final deve ser interpretado em conjunto com a percepção sensorial (como o sabor residual) e demais condições do grão. Essa forte relação integrada é sustentada pelo desempenho do modelo PLS obtido, que explicou 86,42% da variação da pontuação final da bebida com elevada precisão preditiva (r = 0,93).

Conclusão

Conclui-se que o sabor residual e o teor de cafeína foram as variáveis de maior importância para explicar a pontuação final da bebida entre os genótipos de Coffea canephora avaliados. O modelo PLS explicou 86,42% da variação da pontuação final e apresentou elevada concordância entre os valores observados e preditos, com correlação de 0,93. Fragrância/aroma, sabor e trigonelina apresentaram menor contribuição relativa para o modelo. Esses resultados evidenciam que a integração entre atributos sensoriais e composição química pode auxiliar na caracterização da qualidade da bebida e na identificação de genótipos com características de interesse para a qualidade.

Referências

BOLKA, M.; EMIRE, S. Effects of coffee roasting technologies on cup quality and bioactive compounds of specialty coffee beans. Food Science & Nutrition. v.8, n.11, p.6120-6130, 2020.

DIPPONG, T., DAN, M., KOVACS, M. H., KOVACS, E. D., LEVEI, E. A., & CADAR, O. (2022). Analysis of volatile compounds, composition, and thermal behavior of coffee beans according to variety and roasting intensity. Foods (Basel, Switzerland), 11(19), 3146. https://doi.org/10.3390/foods11193146

HALL, R. D.; TREVISAN, F.; DE VOS, R. C. H. Coffee berry and green bean chemistry – Opportunities for improving cup quality and crop circularity. Food Research International, 151, 110825, 2022.

HETZEL, A. Fine Robusta standards and protocols. Coffee Quality Institute: Uganda Coffee Development Authority, p. 28-32, 2011.

JEONG, H.; YOON, S; JO, S. M.; HONG, S. J.; KIM, Y. J.; KIM, J. K.; SHIN, E. Chemical sensory investigation in green and roasted beans Coffea arabica L. (cv. Yellow Bourbon) by various brewing methods using electronic sensors. Journal Food Science. v.88, n.3, p.1033-1047, 2023.

LOPES, G. R.; PASSOS, C. P.;, PETRONILHO, S.; RODRIGUES, C.; TEIXEIRA, J. A.; COIMBRA, M. A. Carbohydrates as targeting compounds to produce infusions resembling espresso coffee brews using

quality by design approach. Food Chemistry, v. 344, p. 128613, 2021.

MEIRELES, D. A. L.; VALDEZ, A. S. B.; BOROSKI, M.; AUGUSTO, S. C.; TOCI, A. T. Effects of pollination on the composition of volatile compounds in Coffea arabica L. Journal Science Food Agric. v.102, p.4955-4960, 2022.

ORPONG, P. et al. Comprehensive analysis of elemental profiles, caffeine and chlorogenic acid contents, antioxidant activities, and isotope ratios in Thai single-origin green coffee beans. Measurement: Food, v. 20, p. 100265, 2025. DOI: 10.1016/j.meafoo.2025.100265. Disponível em: ScienceDirect. Acesso em: 10 ago. 2026.

RUSINEK, R.; DOBRZANSKI, B.; ONISZCZUK, A.; GAWRYSIAK WITULSKA, M.; SIGER, A.; KARAMI, H.; PTASZYNSKA, A.; ZYTEK, A.; KAPELA, K.; GANCARZ, M. How to Identify Roast Defects in Coffee Beans Based on the Volatile Compound Profile. Molecules. v.3, n.27, 2022.

TIEGHI, H. et al. Effects of geographical origin and post-harvesting processing on the bioactive compounds and sensory quality of Brazilian specialty coffee beans. Food Research International, v. 186, p. 114346, 2024. DOI: 10.1016/j.foodres.2024.114346. Disponível em: ScienceDirect. Acesso em: 10 ago. 2026.

VIENCZ, T., Acre, L. B., Rocha, R. B., Alves, E. A., Ramalho, A. R., & Benassi, M. de T. (2023). Caffeine, trigonelline, chlorogenic acids, melanoidins, and diterpenes contents of Coffea canephora coffees produced in the Amazon. Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems, 117(105140), 105140. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105140

ZAREBSKA, M.; STANEK, N.; BARABOSZ, K.; JASZKIEWICZ, A.; KULESZA, R.; MATEJUK, R.; PORADA, A. Comparison of chemical compounds and their influence on the taste of coffee depending on green beans storage conditions. Scientific Reports, 12, 2674, 2022.

ZHANG, H.; SPEAKMAN, J. R. The complexity of coffee and its impact on metabolism. Journal of Endrocrinology. v.262, n.3, 2024

Agradecimentos

À Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio institucional, científico e financeiro para a realização deste trabalho.