

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LEANDRO MENDEL DA CRUZ

**PERFIL SENSORIAL E QUÍMICO DE CAFÉS ARÁBICA
SUBMETIDOS A DIFERENTES PROCESSAMENTOS: INFLUÊNCIA
DA FACE DE EXPOSIÇÃO E ALTITUDE**

ALEGRE-ES

2023

LEANDRO MENDEL DA CRUZ

**PERFIL SENSORIAL E QUÍMICO DE CAFÉS ARÁBICA
SUBMETIDOS A DIFERENTES PROCESSAMENTOS: INFLUÊNCIA
DA FACE DE EXPOSIÇÃO E ALTITUDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia na linha de pesquisa de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Orientador: Prof. D.Sc. José Francisco
Teixeira do Amaral

Coorientador: Prof. D.Sc. Lucas Louzada
Pereira

ALEGRE-ES

2023

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

C955p Cruz, Leandro Mendel da, 1983-
Perfil sensorial e químico de cafés arábica submetidos a diferentes processamentos: influência da face de exposição e altitude / Leandro Mendel da Cruz. - 2023.
70 f. : il.

Orientador: José Francisco Teixeira do Amaral.

Coorientador: Lucas Louzada Pereira.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e Engenharias.

1. Coffea arabica. 2. clima. 3. infravermelho. 4. qualidade. I. Amaral, José Francisco Teixeira do. II. Pereira, Lucas Louzada. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63


LEANDRO MENDEL DA CRUZ

**PERFIL SENSORIAL E QUÍMICO DE CAFÉS ARÁBICA
SUBMETIDOS A DIFERENTES PROCESSAMENTOS: INFLUÊNCIA
DA FACE DE EXPOSIÇÃO E ALTITUDE**


Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Agronomia na linha de pesquisa de Produção de Plantas Cultivadas e Nativas.

Aprovada em 31 de outubro de 2023.


COMISSÃO EXAMINADORA:

Documento assinado digitalmente
 JOSE FRANCISCO TEIXEIRA DO AMARAL
Data: 20/11/2023 18:32:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
Universidade Federal do Espírito Santo
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 EMANUELE CATARINA DA SILVA OLIVEIRA
Data: 20/11/2023 13:49:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Emanuele Catarina da Silva Oliveira
Instituto Federal do Espírito Santo
(Examinador Externo ao Programa)

Documento assinado digitalmente
 MARCELO ANTONIO TOMAZ
Data: 20/11/2023 14:18:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Marcelo Antonio Tomaz
Universidade Federal do Espírito Santo
(Examinador Externo ao Projeto)

Documento assinado digitalmente
 ROGERIO CARVALHO GUARÇONI
Data: 19/11/2023 15:16:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Rogério Carvalho Guarçoni
Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural
(Examinador Externo ao Programa)

À minha esposa Shara da Silva dos Reis Mendel, aos meus filhos Arthur, Pedro,
Júlia e Manuela, por darem propósito de vida e me ensinarem a amar
incondicionalmente.

À Maria Izabel Justa da Cruz e Sebastião Mendel da Cruz (*in memoriam*), pelos
ensinamentos, princípios e valorização da educação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom da vida e a oportunidade de concretizar esta aspiração profissional e pessoal.

A minha família, por sempre estar ao meu lado em todos os momentos, me dando suporte e condições para seguir em busca dos meus sonhos.

Ao Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCAUE-UFES) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de cursar o mestrado nessa instituição.

Ao professor e orientador, Dr. José Francisco Teixeira do Amaral, pela confiança, amizade, respeito e todos os ensinamentos científicos e para a vida.

Ao professor e coorientador, Dr. Lucas Louzada Pereira, pelas contribuições, suporte, ensinamentos transmitidos, amizade e respeito.

Ao Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper, pela oportunidade de realizar este estudo.

Ao amigo e colega Túlio Luís Borges de Lima, coordenador do projeto “Investigação de Perfis Sensoriais e de Determinantes de Qualidade de Cafés da Agricultura Familiar do Caparaó Capixaba” que originou o presente estudo, e pelo incentivo e confiança para realização deste trabalho.

A toda equipe do Laboratório de Análise e Pesquisa em Café - LAPC do IFES, *campus* Venda Nova do Imigrante, que de alguma forma contribuíram no processamento dos cafés e nas análises sensoriais.

A Cristhiane Altoé Filete e Sillas Ramos Mariano por todo trabalho e apoio para realização deste trabalho.

A todos os colegas extensionistas do Incaper que contribuíram para a realização deste estudo.

Ao amigo e pesquisador Dr. Rogerio Carvalho Guarçoni, pelo apoio, amizade, disponibilidade e incentivo em todos os momentos.

A professora Dra. Emanuele Catarina da Silva Oliveira, pelo apoio, contribuições, ensinamentos e disponibilidade para realização das análises químicas.

Ao professor Dr. Marcelo Antonio Tomaz pelas contribuições e sugestões.

A todos aqueles que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Este trabalho é apoiado pelo Banco de Projetos de Pesquisa SEAG/Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Espírito Santo (FAPES) - Portaria nº 002-R/2020.

BIOGRAFIA

Leandro Mendel da Cruz, filho de Sebastião Mendel da Cruz (*in memoriam*) e Maria Izabel Justa da Cruz, natural de Alegre (ES), nascido em 16 de março de 1983.

Em maio de 2003, ingressou como aluno de graduação no curso de bacharelado em Agronomia, na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Centro de Ciências Agrárias e Engenharias (CCAEE). Concluiu o curso em dezembro de 2007, colando grau em fevereiro de 2008 obtendo o título de bacharel em Agronomia.

Iniciou a carreira profissional no ano de 2008 como responsável técnico na empresa Nutrientes Conceição Comercial - Conceição do Castelo - ES. Em 2009 ingressou no quadro de servidor efetivo da Prefeitura Municipal de Irupi - ES, exercendo a função de engenheiro agrônomo. Exerceu a função de Gerente de Certificação, Projetos e Assistência Técnica na Cooperativa dos Agricultores Familiares do Território do Caparaó de 2010 e 2012. Concluiu Especialização em Gestão Ambiental no ano de 2012. Ainda no ano de 2012 ingressou como servidor público estadual no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural - INCAPER, atuando como Agente de Extensão em Desenvolvimento Rural no município de Muniz Freire, assumindo a Coordenação do Escritório Local de Desenvolvimento Rural em 2013. Concluiu Especialização em Gestão, Licenciamento e Auditoria Ambiental em 2013.

Em agosto de 2021 iniciou o curso de pós-graduação *stricto sensu* em nível de mestrado em Agronomia na Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre (ES), na linha de pesquisa Produção de Plantas Cultivadas e Nativas, sob orientação do professor D.Sc. José Francisco Teixeira de Amaral.

RESUMO

CRUZ, Leandro Mendel. **Perfil sensorial e químico de cafés arábica submetidos a diferentes processamentos: influência da face de exposição e altitude.**

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES. Orientador: Prof. D.Sc. José Francisco Teixeira do Amaral. Coorientador: Prof. D.Sc. Lucas Louzada Pereira.

A qualidade da bebida do café tem sido cada vez mais importante para os consumidores da bebida, e conseqüentemente, para os produtores desses grãos. A região do Caparaó Capixaba é notadamente uma região produtora de cafés com perfis sensoriais distintos e com alta qualidade. A interação dos diversos fatores como das características climáticas da região de cultivo e os modos de processamento podem resultar em uma bebida de sabor singular. Objetivou-se no presente estudo avaliar e caracterizar os perfis sensoriais e químicos dos cafés arábica produzidos em seis ambientes distintos na região norte do Caparaó Capixaba (770 SE, 770 S, 950 S, 950 O, 1050 N e 1050 SE), submetidos a quatro processamentos pós-colheita (despolpado, fermentação com leveduras, descascado e natural), bem como as relações com as condições climáticas em função da face de exposição e da altitude da lavoura. A colheita dos frutos no estágio de cereja (maduros) foi realizada de forma manual e seletiva. Os grãos foram processados, secados, torrados, moídos e depois foram realizadas análises sensoriais com base na qualidade de bebida, de acordo com a metodologia de análise sensorial da *Specialty Coffee Association (SCA)*. Foi utilizada a espectroscopia na região do infravermelho médio como técnica complementar a fim de identificar diferenças na composição química para melhor compreensão dos possíveis determinantes da qualidade final da bebida. A caracterização climática de cada experimento foi realizada através dos dados de radiação solar, precipitação, temperaturas máxima e mínima. Os resultados permitem concluir que em cada altitude avaliada, as maiores notas da bebida foram obtidas em plantas cultivadas em 770 SE, 950 O e 1050 SE. No entanto, comparando os seis locais de cultivo, a maior e a menor nota na avaliação sensorial foram obtidas a partir de grãos produzidos nos ambientes 1050 SE e 770 S, respectivamente. Os resultados obtidos no estudo também sugerem que o clima exerce forte influência na qualidade final da bebida do café. O tipo de processamento não foi significativo para a qualidade final da bebida, exceto para o tratamento natural a 770 m. Plantas em diferentes altitudes associadas a condições climáticas produziram cafés com perfis sensoriais e químicos distintos. O agrupamento dos experimentos através da análise de componente principal foi capaz de formar grupos distintos compatíveis com as avaliações sensoriais. A espectroscopia de infravermelho foi capaz de identificar diferenças químicas entre os experimentos avaliados neste estudo.

Palavras Chaves: *Coffea arabica*, qualidade, clima, infravermelho

ABSTRACT

CRUZ, Leandro Mendel. **Sensory and chemical profile of Arabica coffees subjected to different processing: influence of exposure face and altitude.**

Dissertation (Master in Agronomy) – Federal University of Espírito Santo, Alegre, ES.

Advisor: Prof. D.Sc. José Francisco Teixeira do Amaral. Co-advisors: Prof. D.Sc.

Lucas Louzada Pereira.

The quality of the coffee drink has been increasingly important for consumers of the drink, and consequently, for producers of these beans. The Caparaó Capixaba region is notably a region that produces coffees with distinct sensory profiles and high quality. The interaction of different factors such as the climatic characteristics of the growing region and the processing methods can result in a drink with a unique flavor. The objective of this study was to evaluate and characterize the sensory and chemical profiles of arabica coffees produced in six different environments in the northern region of Caparaó Capixaba (770 SE, 770 S, 950 S, 950 O, 1050 N and 1050 SE), subjected to four post-harvest processing processes (pulped, yeast fermentation, peeled and natural), as well as relationships with climatic conditions depending on the exposure side and the altitude of the crop. The harvest of fruits at the cherry stage (ripe) was carried out manually and selectively. The beans were processed, dried, roasted, ground and then sensory analyzes were carried out based on the quality of the drink, in accordance with the sensory analysis methodology of the Specialty Coffee Association (SCA). Spectroscopy in the mid-infrared region was used as a complementary technique in order to identify differences in the chemical composition to better understand the possible determinants of the final quality of the drink. The climatic characterization of each experiment was carried out using data on solar radiation, precipitation, maximum and minimum temperatures. The results allow us to conclude that at each altitude evaluated, the highest grades of the drink were obtained in plants grown at 770 SE, 950 O and 1050 SE. However, comparing the six cultivation sites, the highest and lowest scores in the sensory evaluation were obtained from grains produced in the 1050 SE and 770 S environments, respectively. The results obtained in the study also suggest that the climate has a strong influence on the final quality of the coffee drink. The type of processing was not significant for the final quality of the drink, except for the natural treatment at 770 m. Plants at different altitudes associated with climatic conditions produced coffees with different sensory and chemical profiles. Grouping the experiments through principal component analysis was able to form distinct groups compatible with sensory evaluations. Infrared spectroscopy was able to identify chemical differences between the experiments evaluated in this study.

Keywords: *Coffea arabica*, quality, climate, infrared.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização dos experimentos.	27
Figura 2. Dados de temperatura máxima e mínima, precipitação e período de colheita dos experimentos a 770 m nas faces sul (S) e sudeste (SE).....	34
Figura 3. Dados de temperatura máxima e mínima, precipitação e período de colheita dos experimentos a 950 m nas faces sul (S) e oeste (O).....	35
Figura 4. Dados de temperatura máxima e mínima, precipitação e período de colheita dos experimentos a 1050 m nas faces sudeste (SE) e norte (N).	36
Figura 5. Diagrama de dispersão (A) e gráfico de agrupamento (B) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características sensoriais de 24 cafés obtidos de três altitudes, duas vertentes e quatro processamentos.	44
Figura 6. Correlação de Pearson entre as variáveis sensoriais.....	46
Figura 7. Diagrama de dispersão (A) e gráfico de agrupamento (B) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características nuances, de 24 cafés obtidos de três altitudes, duas vertentes e quatro processamentos.	47
Figura 8. A) Gráfico de loadings das variáveis originais no primeiro componente principal. B) Gráfico de Scores para CP1 e CP2 dos 06 experimentos no intervalo de número de ondas 1764 – 1542 cm^{-1}	48
Figura 9. Scores do CP1 e CP2 dos experimentos 770 SE e 770 S no intervalo de número de ondas 3328 – 3107 cm^{-1} e 1540 – 1319 cm^{-1} (A e C) e dos tratamentos (B e D).	51
Figura 10. Scores do CP1 e CP2 dos experimentos 950 S e 950 O no intervalo de número de ondas 3105 – 2883 cm^{-1} e 1093 – 874 cm^{-1} (A e C) e dos tratamentos (B e D).	52
Figura 11. Scores do CP1 e CP2 dos experimentos 1050 N e 1050 SE no intervalo de número de ondas 1764 – 1542 cm^{-1} e 1540 – 1319 cm^{-1} (A e C) e dos tratamentos (B e D).	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coordenadas geográficas, aspecto e altitude dos experimentos.....	26
Tabela 2. Dados de radiação solar, médias anuais de temperatura máxima e mínima, e precipitação dos 12 meses anteriores a colheita dos frutos em cada experimento	33
Tabela 3. Médias da característica nota final avaliada para a altitude 770 m em duas faces de exposição e quatro processamentos	38
Tabela 4. Médias da característica nota final avaliada para a altitude 950 m em duas faces de exposição e quatro processamentos	39
Tabela 5. Médias da característica nota final avaliada para a altitude 1050 m em duas faces de exposição e quatro processamentos	39
Tabela 6. Bandas de absorção e compostos químicos associados.....	50

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	15
2.1. IMPORTÂNCIA DA CAFEICULTURA PARA REGIÃO DO CAPARAÓ CAPIXABA.....	15
2.2. QUALIDADE DA BEBIDA.....	16
2.3. PROCESSAMENTOS PÓS-COLHEITA.....	18
2.4. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS, ALTITUDE E FACE DE EXPOSIÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CAFÉ.....	19
2.5. O USO DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	26
3.1. ÁREA DO ESTUDO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS	26
3.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	27
3.3. COLETA, PREPARO E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS	28
3.3.1. Tratamento 1: processo descascado (semi-dry)	28
3.3.2. Tratamento 2: processo despulpado (washed)	29
3.3.3. Tratamento 3: processo fermentado com leveduras (yeast fermentation)	29
3.3.4. Tratamento 4: processo natural	29
3.3.5. Processo de secagem	29
3.4. TORRA E MOAGEM DOS CAFÉS.....	30
3.5. ANÁLISE SENSORIAL.....	30
3.6. ANÁLISE DE PERFIL QUÍMICO	31
3.7. ANÁLISE DOS DADOS.....	32
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA.....	33
4.1.1. Radiação solar	33
4.1.2. Temperatura e precipitação	34
4.2. ANÁLISE SENSORIAL.....	37
4.3. ANÁLISES QUÍMICAS POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO MÉDIO (FTIR)	48
5. CONCLUSÕES	56
6. REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

O Brasil tem uma longa história na produção de cafés e através da alta produtividade e as constantes melhorias na qualidade conseguiu atingir elevados padrões em seus aromas e sabores, reforçando esta bebida como um importante símbolo cultural brasileiro (BASTOS et al., 2023; TAVARES; MACHADO; VALDUGA, 2023). A região do Caparaó Capixaba situada no sudoeste do Espírito Santo possui na cafeicultura de montanha a principal atividade econômica do setor primário nessa região, desempenhando um papel crucial no seu desenvolvimento socioeconômico (ROCHA et al., 2019).

As características distintas de um café especial residem na sua qualidade, complexidade e sabores únicos, e à medida que ele se torna mais raro e exótico são procurados por consumidores que estão dispostos a pagar preços mais altos por uma experiência sensorial diferenciada (BARBOSA et al., 2019; FIORESI et al., 2021).

No entanto, a qualidade do café é afetada por uma complexa interação de fatores, como as condições climáticas predominantes, nutrição, manejos utilizados, a latitude e altitude do cultivo, a quantidade de luminosidade que recebe, o processo de colheita, o método empregado para processar os grãos colhidos, as condições sob as quais o café é armazenado e outras variáveis relacionadas. A interação entre esses diversos elementos determina, em última análise, a qualidade da bebida final do café através de alterações no sabor, aroma e as características gerais dos grãos de café (AHMED et al., 2021; DAVIS et al., 2021; ROMANO et al., 2022; BERTRAND et al., 2023).

Sabe-se, que a inter-relação das características climáticas da região de cultivo e os modos de processamento podem resultar em um produto com um perfil de sabor individual (PEREIRA, L. L. et al., 2021a). Uma importante relação que tem chamado a atenção nas pesquisas realizadas nos últimos anos é a orientação da face de exposição das lavouras em relação ao sol (FERREIRA et al., 2016).

O processamento pós-colheita desempenha um papel significativo na determinação da qualidade do café, e por isso, a escolha do método pós-colheita é frequentemente associado a características sensoriais dos grãos de café, podendo resultar em mudanças na composição dos grãos de café, incluindo açúcares,

compostos fenólicos, ácidos clorogênicos e lipídios (HAMEED et al., 2018; KITZBERGER et al., 2020; BARRIOS-RODRÍGUEZ et al., 2021).

Com isso, uma técnica que tem sido amplamente utilizada na avaliação, controle e autenticação da qualidade do café é o uso da Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR) combinada com ferramentas quimiométricas para análise e classificação de amostras de café (SILVA et al., 2021; ZHU et al.; 2021; WÓJCICKI, 2022; CASTILLEJOS-MIJANGOS et al., 2022).

Diante disso, objetivou-se no presente estudo teve como objetivo avaliar e caracterizar os perfis sensoriais e químicos dos cafés arábica produzidos em seis ambientes na região norte do Caparaó Capixaba, sendo três altitudes e duas faces de exposição, submetidos a quatro diferentes processamentos pós-colheita, bem como suas relações com as condições climáticas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. IMPORTÂNCIA DA CAFEICULTURA PARA REGIÃO DO CAPARAÓ CAPIXABA

O Brasil é o maior produtor e o segundo maior consumidor de café no mundo, segundo dados da Organização Internacional do Café, que projeta uma produção mundial de 171,3 milhões de sacas de café em 2023 (OIC, 2023). A estimativa é que o Brasil produza cerca de 54,7 milhões de sacas, onde 69,3% são da espécie *Coffea arabica* L., o equivalente a 37,93 milhões de sacas. O Estado do Espírito Santo é terceiro maior produtor desta espécie e deverá produzir este ano 3,07 milhões de sacas (CONAB, 2023).

A cadeia produtiva do café é responsável pela geração de 8,4 milhões de postos de trabalho, entre empregos diretos e indiretos, abrangendo um total de 1.983 municípios nos dezesseis estados produtores do Brasil. No país, existem 330 mil produtores de café, dos quais 78% são pequenos agricultores rurais, de acordo com dados do Conselho Nacional do Café (CNC, 2023).

A dinâmica da produção de café no Brasil incluiu mudanças significativas na distribuição espacial das microrregiões especializadas na produção de café em resposta a um mercado desregulado e uma nova dinâmica de preços após o ano de 1990, bem como a evolução e variação de sistemas e espécies de produção de café. Essas transformações surgiram em um contexto de transformação estrutural do setor cafeeiro brasileiro e evolução na importância econômica de cada microrregião especializada na atividade cafeeira (VOLSI et al., 2019).

A cafeicultura no território capixaba foi introduzida entre os anos de 1840 a 1860, em substituição à cana-de-açúcar, e, desde então, tem passado por transformações ao longo dos anos (CANO, 1985). E estimativas indicam que das 60 mil propriedades agrícolas dedicadas a essa atividade no estado do Espírito Santo, cerca de 72% são de base familiar, envolvendo aproximadamente 130 mil famílias, gerando cerca de 400 mil empregos somente no setor de produção (FERRÃO et al. 2014).

A região do Caparaó Capixaba abrange diversos municípios e está situada na porção sudoeste do Espírito Santo. Sendo a cafeicultura de montanha a principal atividade econômica do setor primário nessa região, desempenhando um papel crucial no seu desenvolvimento socioeconômico, de acordo com Rocha et al. (2019).

O café arábica produzido na Região do Caparaó conquistou o registro inédito de Indicação Geográfica (IG) na categoria de Denominação de Origem (DO) concedido pelo Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI). Seu registro reconhece reputação, qualidades e características que estão vinculadas ao local. No caso do café do Caparaó, a IG comunica ao mundo que a Região do Caparaó se especializou e tem capacidade de produzir o café arábica com diferenciação e excelência (SEAG, 2021).

Estabelecer proteção legal para indicações geográficas de origem (IG) para café está ganhando importância, pois pode levar a preços de varejo mais altos para cafés de origem única (BORSATO et al., 2011).

A identificação geográfica do café é uma questão relevante tanto para produtores quanto para consumidores. Além das análises sensoriais, outras técnicas têm se mostrado promissoras em distinguir a proveniência geográfica do café com base nas diferenças na composição volátil (PRATIWI; BUDIASA; YUDIARINI, 2021).

2.2. QUALIDADE DA BEBIDA

A demanda por produtos de melhor qualidade estimula a adoção de ferramentas que permitem o aprimoramento, seleção, manutenção e avaliação da qualidade da bebida (PÉREZ-MOLINA et al., 2021). Sendo que as características distintas de um café especial residem na sua qualidade e complexidade, e à medida que ele se torna mais raro e exótico, seu valor se eleva ainda mais (BARBOSA et al., 2019).

Devido a crescente valorização e consumo dos cafés especiais, a produção desse tipo de grão tornou-se um caminho viável para manter e possivelmente aumentar a viabilidade econômica da cafeicultura. Os produtores de café estão adaptando sua tecnologia para atender a essa demanda do mercado, o que tem levado os pesquisadores a enfatizar a qualidade da bebida (NADALETI, 2022). O

Programa de Qualidade do Café no Brasil desempenha um papel importante na coordenação e certificação da qualidade do café no agronegócio do país (BARRA, 2020).

Vale ressaltar que é considerado café especial aquele que mediante avaliação sensorial atingir nota final igual ou superior a 80 pontos. O método internacionalmente utilizado para avaliar a qualidade da bebida do café é o protocolo desenvolvido pela *Specialty Coffee Association (SCA)*, que se baseia em uma análise sensorial descritiva quantitativa, onde a nota global atribuída à bebida e as pontuações individuais de cada atributo desempenham um papel essencial na determinação da qualidade geral. Sendo os atributos impressão global, equilíbrio, finalização, acidez, corpo, fragrância/aroma e sabor, pontuados de 6 a 10, com intervalos de 0,25 pontos. E para os atributos doçura, uniformidade e xícara limpa, a pontuação varia de 0 a 10, sendo o intervalo de 2 pontos para cada uma das 5 xícaras avaliadas no protocolo (SCA, 2015).

De acordo com Volsi et al. (2019) a qualidade do café produzido passou a ser estudada e valorizada apenas nas últimas décadas, em razão dos avanços compreendidos pela pesquisa científica e processos de inovação.

A qualidade final da bebida está intimamente ligada a diversas variáveis, que muitas vezes são complexas e nem sempre podem ser controladas (BORÉM, 2019). A qualidade do café é influenciada por uma combinação de múltiplos fatores, que incluem variedades, solo, clima, manejo, latitude, altitude, luminosidade, colheita, processamento, armazenamento, entre outras. A interação desses diversos fatores é determinante para a qualidade final da bebida de café (BERTRAND et al., 2023).

Além disso, a qualidade dos grãos de café também pode ser influenciada por sua composição química, como pelo conteúdo de proteínas solúveis e açúcares redutores, que são precursores da reação de Maillard durante a torrefação. Cardoso et al. (2023) verificaram que o conteúdo de proteína solúvel dos grãos torrados e a degradação da proteína durante a torrefação se correlacionam com os atributos de qualidade dos cafés.

2.3. PROCESSAMENTOS PÓS-COLHEITA

Uma das etapas mais importantes para qualidade final do café é a escolha do método de processamento após a colheita dos grãos maduros. O processamento do café pode ser realizado de formas distintas: mantendo-se o fruto intacto, ou seja, o fruto é processado em sua forma integral, comumente denominado de café natural; removendo-se apenas a casca e parte da mucilagem, denominado cereja descascado (CD); removendo-se a casca e a mucilagem mecanicamente (desmucilado); ou removendo-se a casca mecanicamente e a mucilagem por meio de fermentação (despolpado), ou a fermentação induzida usando inoculações específicas (REINATO et al., 2012; MARTINS et al., 2020; BRESSANI et al., 2021).

O processamento pós-colheita desempenha um papel significativo na determinação da qualidade do café, chegando a influenciar até 60% dos atributos de qualidade do café dependendo do processamento pós-colheita utilizado (HAMEED et al., 2018). Assim sendo, a escolha do método pós-colheita via seca ou úmida, pode afetar as características sensoriais dos grãos de café (BARRIOS-RODRÍGUEZ et al., 2021).

O processamento via úmida envolve a remoção da casca externa e da polpa da cereja do café antes de secar os grãos, enquanto o processamento a seco envolve a secagem de toda a cereja antes de remover as camadas externas. Borém et al. (2018) concluíram que o processamento úmido resulta em melhores atributos sensoriais, como sabor e aroma, em comparação com o processamento a seco.

Estudos indicam que a qualidade do café arábica em diferentes altitudes e com processamento via úmida resultou em melhores atributos sensoriais de sabor e aroma em comparação com o sistema de processamento a seco (BOLKA; EMIRE, 2020).

Processamento via úmida, como despolpação ou desmucilagem, fermentação e imersão, podem afetar a dinâmica da comunidade microbiana, as composições de metabólitos e a qualidade resultante da bebida do café (ZHANG et al., 2019). A fermentação induzida usando inoculações específicas de levedura, incluindo coinoculações, foi um aspecto fundamental para melhorar a qualidade do café arábica de baixa altitude (BRESSANI et al., 2021).

As propriedades físico-químicas e os atributos sensoriais dos grãos de café são influenciados pelas operações pós-colheita, incluindo o processamento, secagem, classificação e torrefação (HAILE; KANG, 2019). Portanto, distintos métodos de processamento pós-colheita podem resultar em mudanças na composição dos grãos de café, incluindo açúcares, compostos fenólicos, ácidos clorogênicos e lipídios (KITZBERGER et al., 2020).

As condições de temperatura e tempo durante o processamento pós-colheita também desempenham um papel na determinação da qualidade do perfil sensorial da bebida do café (ANACONA et al., 2022).

Perfis sensoriais variados podem ser produzidos em função do tipo de processamento pós-colheita, duração da fermentação e método de secagem, pois possui influência significativa na qualidade sensorial do café (MUNYENDO et al., 2021).

A secagem é particularmente crítica para preservar a qualidade do café e afeta o consumo de energia e os custos de processamento (HIL, C. L.; BORÉM, F. M, 2019). A taxa de secagem e a temperatura também desempenham um papel na qualidade do café, com taxas e temperaturas de secagem mais altas impactando negativamente a qualidade final dos grãos de café naturais (BORÉM et al., 2018).

Diferentes métodos de secagem, como secagem ao sol aberto, em terreiro coberto, secadores mecânicos ou terreiros suspensos também podem afetar os atributos de qualidade do café, com a secagem em terreiro coberto geralmente resultando em melhor qualidade da bebida (FERREIRA et al., 2013; SANTOS et al., 2020; KUSMIYATI; FUDHOLI, 2021).

2.4. CONDIÇÕES CLIMÁTICAS, ALTITUDE E FACE DE EXPOSIÇÃO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CAFÉ

As mudanças climáticas provavelmente terão impactos negativos na produção de café, com temperaturas mais altas reduzindo a produção de *Coffea arabica* e aumentando a variação das temperaturas intra-sazonais afetando o *Coffea canephora*. Prevê-se que a área global adequada para café diminua em cerca de 50% em todos os cenários de emissão até o ano de 2050, com os maiores impactos em

baixas latitudes e baixas altitudes. O Brasil e o Vietnã, as regiões de produção dominantes do mundo, podem experimentar reduções substanciais na área disponível para café (BUNN et al., 2015). Essas alterações nos padrões climáticos, caracterizadas principalmente pelo aumento das temperaturas e mudanças nos padrões de precipitação, podem afetar negativamente a produção de café, aumentando a incidência de pragas e doenças, reduzindo a produtividade e afetando o sabor, a qualidade e a bioquímica do café (PRUVOT-WOEHL et al., 2020; DJUFRY; WULANDARI, 2021; ADANE; BEWKET, 2021). No entanto, a produção de café de qualidade influencia positivamente a adaptação às mudanças climáticas, sugerindo que melhorar a qualidade é essencial para um setor cafeeiro mais resiliente (SANTOS et al., 2021).

Fatores ambientais como exposição à luz, altitude, estresse hídrico, temperatura, dióxido de carbono, manejo nutricional, precipitação, sazonalidade, o ambiente de produção, o manejo da planta e o processamento pós-colheita podem afetar a qualidade do café através de alterações no sabor, aroma e as características gerais dos grãos (AHMED et al., 2021; DAVIS et al., 2021; ROMANO et al., 2022).

O clima durante o ciclo da cultura e o período de secagem dos grãos de café afetam a qualidade natural da bebida de café, indicando a relação entre elementos meteorológicos e qualidade da bebida de café (ROLIM et al., 2020).

Sendo que, temperaturas mais baixas normalmente levam a uma melhor qualidade do grão e da bebida e a um maior teor de cafeína, trigonelina e ácido clorogênico. E o sombreamento pode influenciar a bioquímica do grão, modificando as condições microclimáticas locais, podendo levar a uma melhor qualidade do grão e a níveis mais altos de compostos bioativos. Ao mesmo tempo, que o aumento da radiação solar e o aquecimento podem influenciar negativamente a síntese de precursores de qualidade dos grãos (GETACHEW et al., 2022).

É importante destacar que as espécies de café, como Arábica e Canéfora, têm requisitos específicos de temperatura para um crescimento e qualidade ideais. O café arábica prefere temperaturas entre 18 e 22°C com pequenas flutuações sazonais, enquanto o Robusta pode tolerar temperaturas mais altas. O aumento das temperaturas devido às mudanças climáticas pode levar à diminuição das áreas

adequadas de cultivo de café e ao aumento da contaminação por micotoxinas, afetando a qualidade do café. Temperaturas elevadas também podem favorecer o crescimento de fungos micotoxigênicos, como o *Aspergillus flavus*, que pode produzir aflatoxinas, comprometendo ainda mais a qualidade do café e segurança alimentar (ADHIKARI et al., 2020).

Estudo realizado no Brasil concluiu que diferentes altitudes e exposição à radiação solar afetaram a qualidade física e sensorial dos grãos de café. O café cultivado em altitudes mais elevadas e na face da planta exposta ao sol da tarde produziu café de melhor qualidade. Por outro lado, em altitudes mais baixas, o café da face da planta exposta ao sol da manhã teve uma maior associação com parâmetros de qualidade física e sensorial (FERREIRA et al., 2022). Sendo que, a radiação solar afeta o metabolismo da planta e o amadurecimento dos frutos, que estão diretamente relacionados à qualidade final da bebida do café (PEREIRA, P. V. et al., 2021).

A altitude também é um dos principais fatores para mudanças e melhoria da qualidade dos grãos de café, provavelmente associada a temperaturas mais baixas e maior disponibilidade de água (CASSAMO et al., 2022). O aumento da altitude está associado à melhoria dos atributos sensoriais do café, enquanto o aumento da exposição à luz está associado à diminuição dos atributos sensoriais (LARA-ESTRADA; RASCHE; SCHNEIDER, 2021).

O processo de amadurecimento mais lento e o período de enchimento prolongado do grão em altitudes mais altas resultam em maior acúmulo de precursores de sabor. Os genótipos de café tendem a ter maior potencial de qualidade quando cultivados em altitudes mais elevadas. A altitude afeta a formação de eventos bioquímicos e fisiológicos no café, afetando o sabor, o aroma e os atributos estimulantes da qualidade da bebida do café. A presença de microrganismos benéficos ao cafeeiro em altitudes mais elevadas pode contribuir para ganhos de qualidade. A altitude também influencia o equilíbrio de compostos físicos, compostos químicos e compostos voláteis e não voláteis, que são essenciais para maximizar a qualidade do café. A realocação da produção de café para altitudes mais elevadas pode apoiar a qualidade do café, mas traz limitações como disponibilidade limitada de terras e impactos potenciais na biodiversidade (AHMED et al., 2021).

O sistema de defesa antioxidante em frutos de café cultivados em altitudes mais elevadas é mais eficiente na neutralização de espécies reativas de oxigênio, contribuindo para a extensão do ciclo reprodutivo do café e a produção de café de melhor qualidade (SANTOS et al., 2018).

O clima, particularmente a altitude, tem um impacto significativo na composição da comunidade microbiana e nos compostos bioquímicos do café, influenciando, em última análise, sua qualidade e características sensoriais (MARTINEZ et al., 2021). Foi constatado que fatores ambientais como altitude, face de exposição e radiação solar influenciaram significativamente as comunidades bacterianas e fúngicas no solo e nos frutos de *Coffea arabica*. Altitudes mais altas foram associadas a maior riqueza, uniformidade e diversidade das comunidades bacterianas e fúngicas no solo e nos frutos (VELOSO et al., 2020).

Descobriu-se que o café cultivado em diferentes altitudes tem variações na microbiota, compostos químicos e atributos sensoriais. Foi demonstrado que o cultivo em grandes altitudes de *Coffea arabica* melhora a qualidade da bebida. No entanto, há dados quantitativos limitados que descrevem a influência dos fatores climáticos na qualidade do café. Fatores ambientais como temperatura e pressão atmosférica também desempenham um papel na qualidade do café. A diminuição da temperatura e a menor pressão atmosférica em altitudes mais elevadas podem impactar os microrganismos presentes nos grãos de café (MARTINS et al., 2020).

Altitudes mais altas foram associadas a atributos positivos no café, como aparência e preferência, e a uma diminuição nos atributos negativos, como amargor e adstringência. O tamanho dos grãos de café também pode ser influenciado pelo meio ambiente. Grãos maiores não necessariamente têm melhor qualidade, mas o tamanho dos grãos pode mudar de acordo com o ambiente (COSTA et al., 2021).

2.5. O USO DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

A espectroscopia na região do infravermelho (*Infrared*–IR) tem sido empregada na avaliação da qualidade e composição química de vários alimentos, incluindo o café. Geralmente é dividido em três regiões de número de onda: infravermelho distante ($400\text{--}10\text{ cm}^{-1}$), infravermelho médio ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) e infravermelho próximo

(13.333–4000 cm^{-1}). A espectroscopia IR baseia-se no princípio de que cada ligação química vibra com uma frequência específica, que corresponde a uma certa quantidade de energia. Essas vibrações induzem bandas de absorção, úteis nas análises qualitativas e quantitativas de muitas moléculas em amostras. A identificação e designação dessas bandas para grupos químicos específicos fornecem informações específicas sobre o produto que está sendo investigado. No entanto, interpretar os espectros representa um desafio, uma vez que, apresentam bandas largas e muitas vezes sobrepostas, necessitando da aplicação de métodos quimiométricos para o processamento dos dados (MUNYENDO; NJOROGÉ; HITZMANN, 2021).

A qualidade do café tem grande importância para indústria cafeeira, com vários métodos e técnicas usados para avaliá-la e mantê-la. O uso da Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (*Fourier Transform Infrared* - FTIR) combinada com ferramentas quimiométricas para análise e classificação de amostras de café tem sido amplamente utilizada na avaliação, controle e autenticação da qualidade desta bebida (SILVA et al., 2021; ZHU et al., 2021; WÓJCICKI, 2022; CASTILLEJOS-MIJANGOS et al., 2022). Combinada com a análise multivariada, a espectroscopia de infravermelho tem o potencial de ser aplicada à análise de umidade, sólidos solúveis e açúcares em grãos de café verde, com resultados satisfatórios (MACEDO et al., 2021).

Por isso, a análise de todo o espectro do café usando FTIR pode ser mais eficiente e interessante do ponto de vista industrial e científico, dada a complexidade da bebida (BELCHIOR et al., 2020).

Juntamente com a análise multivariada de dados, a espectroscopia de infravermelho se mostra como uma abordagem rápida e não destrutiva a fim de categorizar os grãos de café de acordo com sua proveniência geográfica. O emprego dessa técnica tem o potencial de melhorar a garantia de qualidade dos grãos de café de maneira econômica, conforme sugerido por Giraudo et al. (2019). E confirmado por Guerrero-Peña et al. (2023) que concluíram que o uso tecnologia de espectroscopia de Infravermelho provou ser um método valioso e abrangente para verificar a autenticidade do café torrado e moído disponível comercialmente, originário de várias regiões do México. Os resultados obtidos pela técnica são comparáveis aos obtidos por meio de métodos analíticos convencionais, atestando assim a validade da

tecnologia quando se trata de distinguir entre origens, espécies, qualidade, grau de torrefação, variedade e tempo de torrefação dos grãos de café.

Outros autores afirmam ainda que a espectroscopia de infravermelho, além de ter se mostrado um método rápido e eficaz para classificação geográfica e a autenticação da origem do café, pode prever parâmetros importantes do café, como sacarose, durante o processo de torrefação, com alta precisão e adequação (SCHOLZ et al., 2016; BONA et al., 2017).

Analisando as composições químicas dos cafés Arábica e Canéfora a espectroscopia de infravermelho médio foi utilizada como ferramenta para comparar as diferenças entre as duas espécies e os diferentes métodos de processamento. Os resultados mostraram que houve diferenças nas composições químicas das duas variedades de café, e os métodos de processamento afetaram a composição química de forma diferente para cada uma delas (FIORESI et al., 2021).

Outro uso relacionado a espectroscopia de infravermelho médio é a capacidade de identificar as classes de compostos químicos responsáveis pela separação dos perfis de torrefação de cafés cultivados em diferentes altitudes (DEBONA et al., 2021).

A espectroscopia FTIR e a Análise de Componentes Principais (*Principal Components Analysis* - PCA) têm sido usadas para classificar grãos e pó de café com base em sua origem (AKBAR et al., 2021). A PCA é uma ferramenta frequentemente usada para classificação ou discriminação de amostras, reduzindo os dados espectrais a um pequeno número de variáveis não correlacionadas chamados componentes principais e ajuda a identificar clusters e valores discrepantes no conjunto de dados (CASTILLEJOS-MIJANGOS et al., 2022). A análise química e a análise de componentes principais (PCA) são essenciais para determinar a composição química de espécies não voláteis, correlacionando-a com a qualidade da bebida e agrupando cafés especiais e tradicionais. A PCA mostrou uma distinção entre os cafés tradicionais e especiais, estabelecendo uma relação entre o conteúdo dos compostos em cada tipo de café, a qualidade e a classificação. Os resultados mostraram uma clara separação dos cafés especiais e tradicionais, indicando que a PCA pode ser usada para classificação de cafés (ALCANTARA; DRESCH; MELCHERT, 2021).

Conforme relatado por Suhandy, Kusumiyati e Yulia (2022) em estudo conduzido na Indonésia, o emprego da técnica de espectroscopia em conjunto com a análise quimiométrica, utilizando um espectrômetro de baixo custo, provou ser um método rápido e eficaz com preparação de amostras de maneira simplificada.

Barrios-Rodríguez et al. (2021) estudando o uso da FTIR concluíram que esta metodologia pode ser usada complementarmente à análise sensorial, fornecendo informações adicionais e valiosas sobre a composição química dos grãos verdes e torrados obtidos de diferentes tratamentos pós-colheita. Segundo seus resultados, PCAs baseados em espectros de FTIR discriminaram as amostras em três grupos de acordo com o processamento pós-colheita. Os marcadores químicos detectados pelo FTIR permitiram a discriminação e identificação de tratamentos pós-colheita para grãos verde e torrados.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DO ESTUDO E CONDUÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Foram realizados seis experimentos em diferentes propriedades localizadas na região ao norte do Caparaó Capixaba, em três altitudes: 770, 950 e 1050 m acima do nível do mar, e duas faces de exposição por altitude (Tabela 1). Todos os experimentos são de cafés arábica em produção, não-irrigados, variedade catuaí, com adubação realizada baseando-se nos resultados das análises de solo e de acordo com as recomendações do Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo 5ª aproximação (PREZOTTI et al., 2007). O manejo fitossanitário e os tratos culturais foram realizados de acordo com as necessidades e as recomendações técnicas para a cultura. As propriedades são assistidas por técnicos do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural – Incaper.

Os seis experimentos, localizados em três faixas de altitude e em duas faces, foram conduzidos no delineamento em blocos casualizados com cinco repetições, sendo os tratamentos compostos pelos processamentos Despolpado, Fermentação com leveduras, Descascado e Natural.

Tabela 1. Coordenadas geográficas, aspecto e altitude dos experimentos

Exp.	Município	Colheita (2021)	Latitude (Grau decimal)	Longitude (Grau decimal)	Aspecto (Face de exposição)	Altitude (m)
770 SE	Muniz Freire	Junho	-20,287878	-41,378311	Sudeste	770
770 S	Muniz Freire	Maio	-20,504225	-41,392531	Sul	770
950 S	Ibatiba	Julho	-20,285000	-41,472222	Sul	950
950 O	Ibatiba	Julho	-20,296772	-41,671906	Oeste	950
1050 N	Lúna	Julho	-20,316758	-41,765444	Norte	1050
1050 SE	Muniz Freire	Outubro	-20,327760	-41,453742	Sudeste	1050

Fonte: Autor com colaboração de Taís Rizzo Moreira.

3.2. CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Cada experimento foi georreferenciado no ponto central do talhão, sendo utilizado o aparelho de GPS Garmin Map 64s para este fim (Figura 1).

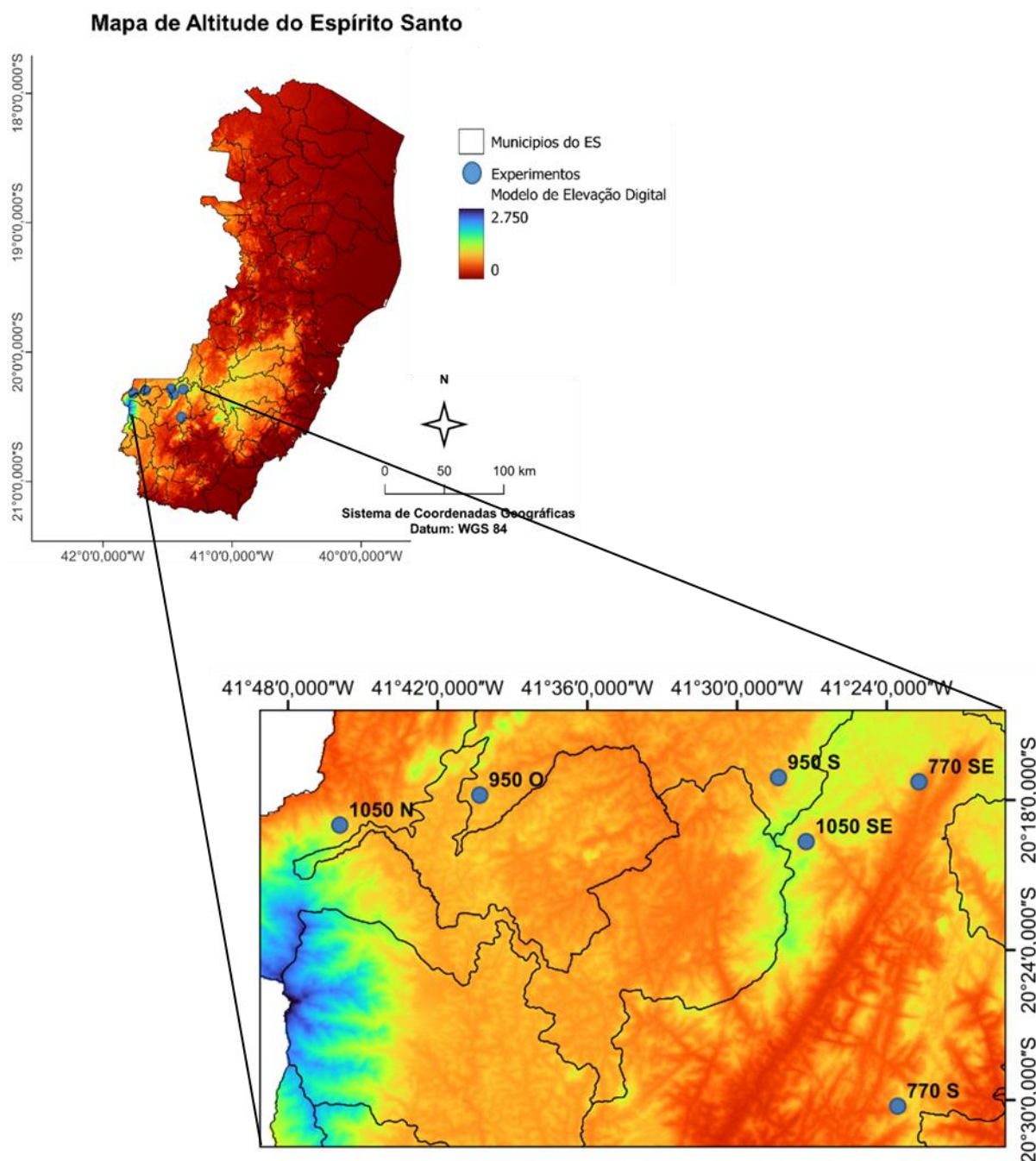


Figura 1. Localização dos experimentos.

Fonte: Autor

Para a caracterização ambiental das áreas estudadas foi utilizada a base de dados meteorológicos do laboratório de climatologia *TerraClimate*, onde foram baixados os dados mensais dos anos 2020 e 2021 para cada área, com resolução espacial de aproximadamente 4 km² (ABATZOGLOU et al., 2018). Utilizou-se as seguintes variáveis: temperatura máxima (tmax em °C), temperatura mínima (tmin em °C), radiação solar (W/m²) e precipitação acumulada (ppt em mm). Para extração e processamento dos dados foram utilizados os softwares QGIS e SAGA GIS (QGIS Development Team, 2023; CONRAD et al., 2015).

Para a obtenção da variável “aspecto” ou “face de exposição” (direção da inclinação da área) foi utilizado o software ArcGIS®. Todas as variáveis foram pré-processadas em ambiente SIG e as informações foram extraídas com base nas coordenadas geográficas de cada experimento.

3.3. COLETA, PREPARO E PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

Em cada experimento foram coletados 09 litros de cafés arábica (*Coffea arabica* L.) por unidade experimental, colhidos seletivamente no estádio de cereja, no período de maio a outubro do ano de 2021. Os cafés maduros dos experimentos foram levados ao Laboratório de Análise e Pesquisa em Café (LAPC) do Instituto Federal do Espírito Sando (IFES), Campus Venda Nova do Imigrante para o início do processamento pós-colheita no mesmo dia que foram colhidos nas propriedades. Inicialmente os frutos de café passaram pelo processo de lavagem em caixas de polietileno para retirada de impurezas e dos grãos que boiam na água (secos, brocados, malformados e imaturos), comumente chamados de “boia”, separando-os dos frutos cereja e verdes. A água potável utilizada no processamento dos cafés em todos os experimentos estava de acordo com a resolução CONAMA nº. 357/2005 (BRASIL, 2005), que trata da classificação dos corpos d'água.

3.3.1. Tratamento 1: processo descascado (semi-dry)

Processo de retirada da casca dos frutos através de equipamento mecânico chamado de descascador. Nesse processo os frutos passam pelo equipamento que os pressiona contra um cilindro cheio de furos e pelos quais passam os frutos cerejas e os verdes ficam retidos. Durante esse processo, o fruto cereja perde facilmente a

casca e vai direto para o processo de secagem. Para o descascamento foi utilizado o equipamento BLASI-10 (descascador de café), da marca Blasi©.

3.3.2. Tratamento 2: processo despulpado (washed)

O processo de fermentação com água, também conhecido como despulpado, é um processo anaeróbico em que foram utilizados 2 litros de café cereja descascado sem remoção da mucilagem, imersos em 2 litros de água por 36 horas. Ao final os frutos perdem a mucilagem, e são retirados e lavados com água limpa, e em seguida, levados para secagem.

3.3.3. Tratamento 3: processo fermentado com leveduras (yeast fermentation)

Processo de fermentação realizado com a adição da levedura *Saccharomyces cerevisiae* sp., popularmente conhecida como fermento de pão, na proporção de 1% para cada litro de café maduro. É um processo anaeróbico em que foram utilizados 2 litros de café cereja descascado e 20 g de levedura, imersos em 2 litros de água por 36 horas, e em seguida, levados para secagem.

3.3.4. Tratamento 4: processo natural

Após o processo de lavagem o café foi levado diretamente para a secagem em terreiro suspenso com cobertura plástica e solo impermeabilizado com cimento até os grãos atingirem 11% \pm 1 de umidade (base úmida, bu).

Para os tratamentos pós-colheita descascado, despulpado e fermentado com levedura, os grãos foram colocados em um recipiente de polipropileno atóxico, com capacidade para 20 L, sem oxigênio por 36 h.

3.3.5. Processo de secagem

Os cafés foram secos ao sol em ambiente com cobertura plástica em sistema suspenso e os grãos distribuídos em camadas finas de 7 litros por m², até atingirem aproximadamente 11% \pm 1 de umidade (base úmida), com temperatura média de 19,33°C, com máxima de 27,75 °C (dia) e mínima de 13,00 °C (noite). A temperatura

foi monitorada pelo sistema Arduino Uno R3—Bluetooth Module Hc-06 Rs232—Humidity and Temperature Sensor Dht22 Am2302—SD Card Module.

Durante o processo de secagem os grãos foram revolvidos regularmente durante o dia e a temperatura do terreiro controlada através da abertura ou fechamento das laterais do terreiro. O procedimento de secagem foi padrão para todos os tratamentos. Após a secagem, os cafés de todos os tratamentos foram armazenados em embalagens plásticas herméticas e impermeáveis por no mínimo 30 dias.

3.4. TORRA E MOAGEM DOS CAFÉS

As amostras dos cafés foram codificadas e submetidas à classificação de mesa conforme a Classificação Oficial Brasileira (COB), utilizando-se 100 g de grãos para cada avaliação. A torra dos grãos foi realizada no torrador Probatino da Probat© com conjunto de discos Agron-SCAA. O ponto de torra foi determinado visualmente e foi de leve a leve-média intensidade, verificada por equipamento MBasic (Gourmet) Agron. A coloração da torra ficou situada aproximadamente em #58, no caso do grão, e em #63, moído, admitindo-se tolerância de +/- 1 ponto. As torras foram realizadas 24 horas antes da degustação e utilizou-se os procedimentos da *Specialty Coffee Association* (SCAA, 2015). A temperatura e o tempo da torra foram monitorados com auxílio de termômetros e cronômetros, respectivamente, sendo utilizado as faixas de tempos limites entre 8 a 12 minutos.

A moagem foi realizada com moinho modelo Bunn G3 regulado para 70% das partículas moídas passassem em peneira de 20 meshes. Para que não ocorresse contaminação das amostras foi realizada a limpeza do equipamento e passado antes um pequeno volume da amostra a ser avaliada.

3.5. ANÁLISE SENSORIAL

A avaliação dos atributos sensoriais foi realizada por meio de degustação, por provadores qualificados, conforme a metodologia *Specialty Coffee Association*. Seguindo o protocolo para degustação de cafés, cada repetição de cada parcela

experimental foi avaliada em 5 xícaras, sendo utilizado 8,25 g de café moído em 150 mL de água (SCA, 2015).

Neste protocolo são avaliados os seguintes atributos: fragrância/aroma, uniformidade, ausência de defeitos (xícara limpa), doçura, sabor, acidez, corpo, finalização, equilíbrio, imperfeições e avaliação global. E também são avaliados os defeitos da bebida, que são os sabores negativos ou pobres que depreciam a qualidade do café.

Para o resultado final de cada amostra calculou-se, inicialmente, o resultado total, que é a soma das avaliações de cada atributo e subtrai-se o valor correspondente aos defeitos, obtendo-se, assim, o “resultado final” ou nota final do café.

3.6. ANÁLISE DE PERFIL QUÍMICO

A análise de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), foi utilizada como técnica para identificação de possíveis diferenças químicas entre as amostras dos cafés estudados.

Foram utilizadas amostras de café torrado e moído em granulometria fina, prensados até formar pequenos “discos” e depois inseridos no espectrômetro para a análise. Os espectros das amostras foram obtidos utilizando o espectrômetro Cary 630 FTIR (Agilent Technologies) em um acessório diamante ATR (refletância total atenuada) com ângulo de reflexão de 45° , 1 mm de diâmetro, 200 μm de área ativa, e aproximadamente 2 μm de profundidade de penetração da amostra usando um Detector de Refletância de Seleneto de Zinco (ZnSe).

Os espectros infravermelhos médios das amostras foram obtidos com a média de 8 varreduras consecutivas, com resolução de 4 cm^{-1} na faixa do número de onda de 4.000 a 630 cm^{-1} , ou seja, na região do espectro eletromagnético do infravermelho médio, considerando que esta região espectral apresenta grande quantidade de informações que podem ser utilizadas para a caracterização funcional de compostos orgânicos.

3.7. ANÁLISE DOS DADOS

Para as análises estatísticas foi realizada análise conjunta de experimentos para cada altitude e as médias comparadas pelo teste de Tukey.

Foram realizadas análises de componentes principais para agrupamento dos cafés, oriundos de três altitudes, duas vertentes e quatro processamentos, quanto às características sensoriais e de nuances, mediante exames visuais em dispersões gráficas e de correlação de Pearson entre as variáveis sensoriais. Para as análises estatísticas foram utilizados o programa R (R Core Team, 2023) e Past version 4.10 .

As análises dos espectros do infravermelho foram realizadas utilizando o software Matlab® R2013a. Os dados foram pré-processados pelos métodos de MSC (correção do espalhamento multiplicativo) e Center (centrar na média). Após a etapa de pré-processamento foi realizada a análise de componentes principais (principal component analysis - PCA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

4.1.1. Radiação solar

Os dados climáticos de radiação solar de cada experimento foram extraídos para o período de 12 meses anteriores ao mês de colheita dos grãos de café.

De acordo com os dados da Tabela 2 os experimentos 1050 Sudeste e 1050 Norte foram os que receberam menos radiação solar enquanto os experimentos 770 Sul e 950 sul obtiveram as maiores incidências anuais de radiação solar. Quando comparados por altitude, os experimentos 770 Sul, 950 Sul, e 1050 Norte foram os que mais receberam radiação solar, em oposição as áreas 770 Sudeste, 950 Oeste, e 1050 Sudeste que receberam quantidades menores de incidência de radiação solar.

Tabela 2. Dados de radiação solar, médias anuais de temperatura máxima e mínima, e precipitação dos 12 meses anteriores a colheita dos frutos em cada experimento

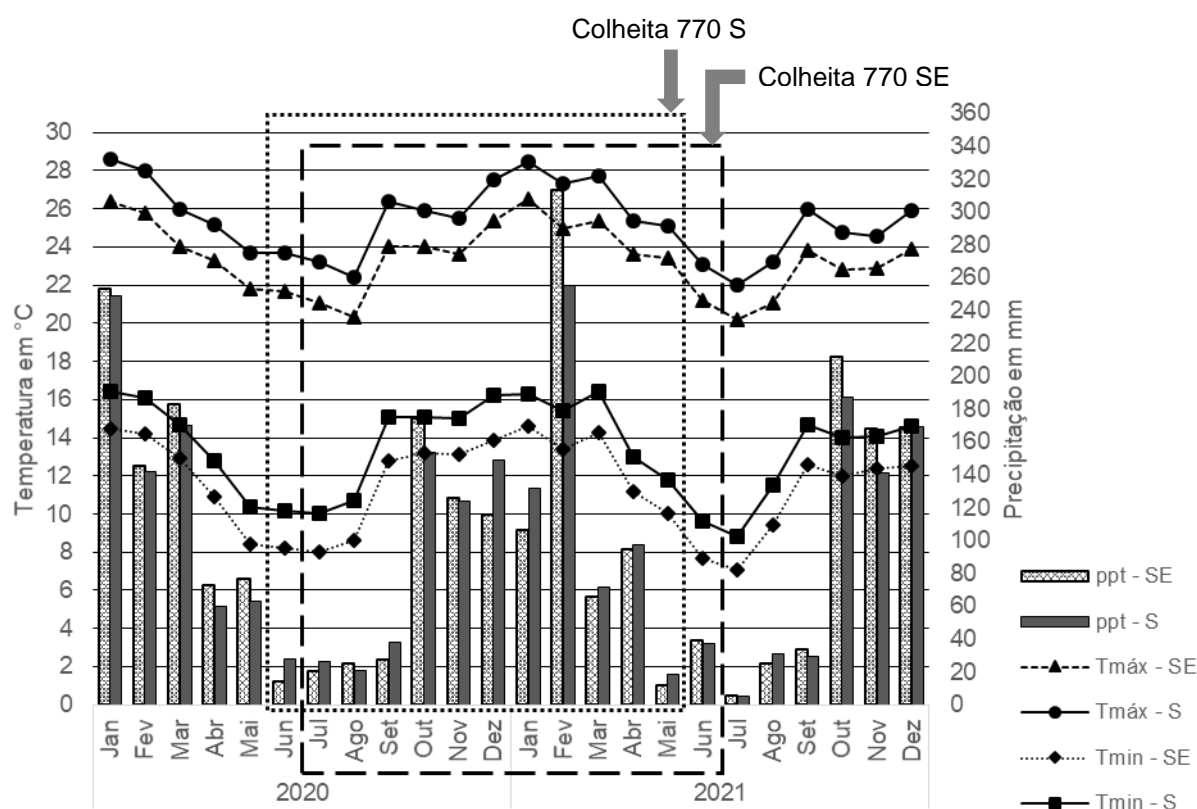
Experimento	Colheita dos frutos Mês/ Ano	Radiação Solar (RS) recebida (Wh/m ²)		Temperatura (°C)		Precipitação (mm)
		RS Média diária	RS Total anual	Média T _{máx}	Média T _{min}	
770 SE	Jun/21	4.333,20	1.581.617,99	23,63	11,73	1.119
770 S	Mai/21	4.474,00	1.633.009,98	25,72	13,77	1.113
950 S	Jul/21	4.373,48	1.596.320,20	25,17	12,93	1.108
950 O	Jun/21	4.316,54	1.575.537,10	25,16	12,49	1.178
1050 N	Jul/21	4.315,20	1.575.048,01	24,76	12,13	1.200
1050 SE	Out/21	4.248,20	1.550.593,01	23,58	11,61	1.170

SE: sudeste; S: sul; O: oeste; N: Norte; Wh: watt por hora; T_{máx}: temperatura máxima, T_{min}: temperatura mínima

Fonte: Autor.

4.1.2. Temperatura e precipitação

Os dados climáticos exibidos na Figura 2 indicam que o experimento 770 SE teve as médias mensais das temperaturas máxima e mínima inferior às mesmas médias do experimento 770 S durante todo o período observado, com uma diferença de aproximadamente 2°C entre as médias das temperaturas máximas e entre as médias das temperaturas mínimas mensais dos experimentos (Tabela 2).

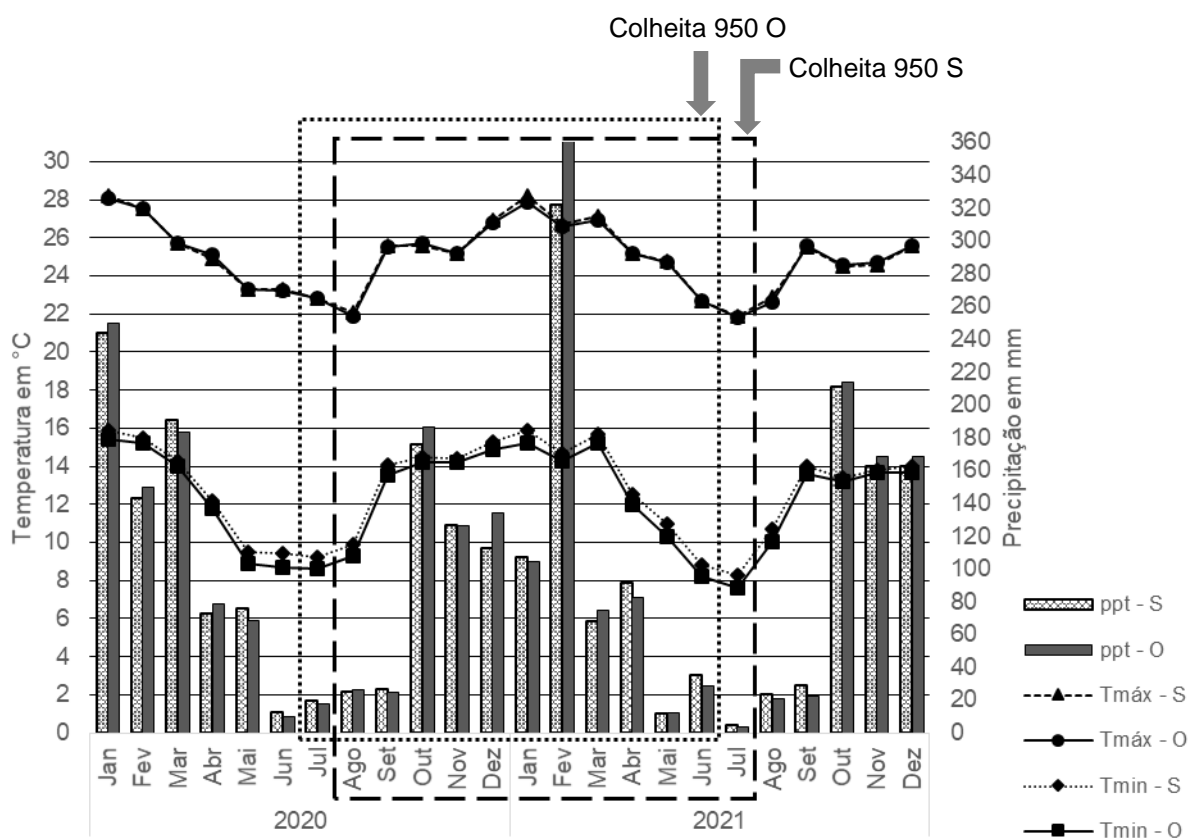


SE: sudeste; S: sul; Tmáx: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima; ppt: precipitação

Figura 2. Dados de temperatura máxima e mínima, precipitação e período de colheita dos experimentos a 770 m nas faces sul (S) e sudeste (SE).

O acumulado de precipitação para os 12 meses anteriores a colheita foi de 1.119 e 1.113 mm, para os experimentos 770 SE e 770 S, respectivamente (Tabela 2). Destaca-se que no mês de fevereiro de 2021 houve a maior diferença mensal entre os experimentos, com os valores de 313 mm para a face sudeste e 255 mm para a face sul.

Diferentemente do observado nos experimentos localizados a 770 m de altitude, os dados da Figura 3 demonstram que as médias mensais de temperatura máxima e mínima dos experimentos 950 sul e 950 oeste foram muito próximas entre eles. Ambos os experimentos a 950 m de altitude apresentaram média anual de temperatura máxima de 25°C (Tabela 2), considerando os 12 meses anteriores a colheita de cada experimento. Observa-se uma pequena diferença entre as médias anuais de temperatura mínima entre os experimentos 950 SE e 950 O, sendo 12,93°C e 12,49°C, respectivamente. Consta-se que no período observado a maior diferença de temperatura entre os experimentos, tanto entre as médias mensais máxima quanto as médias mensais mínimas, foi inferior a 1°C.

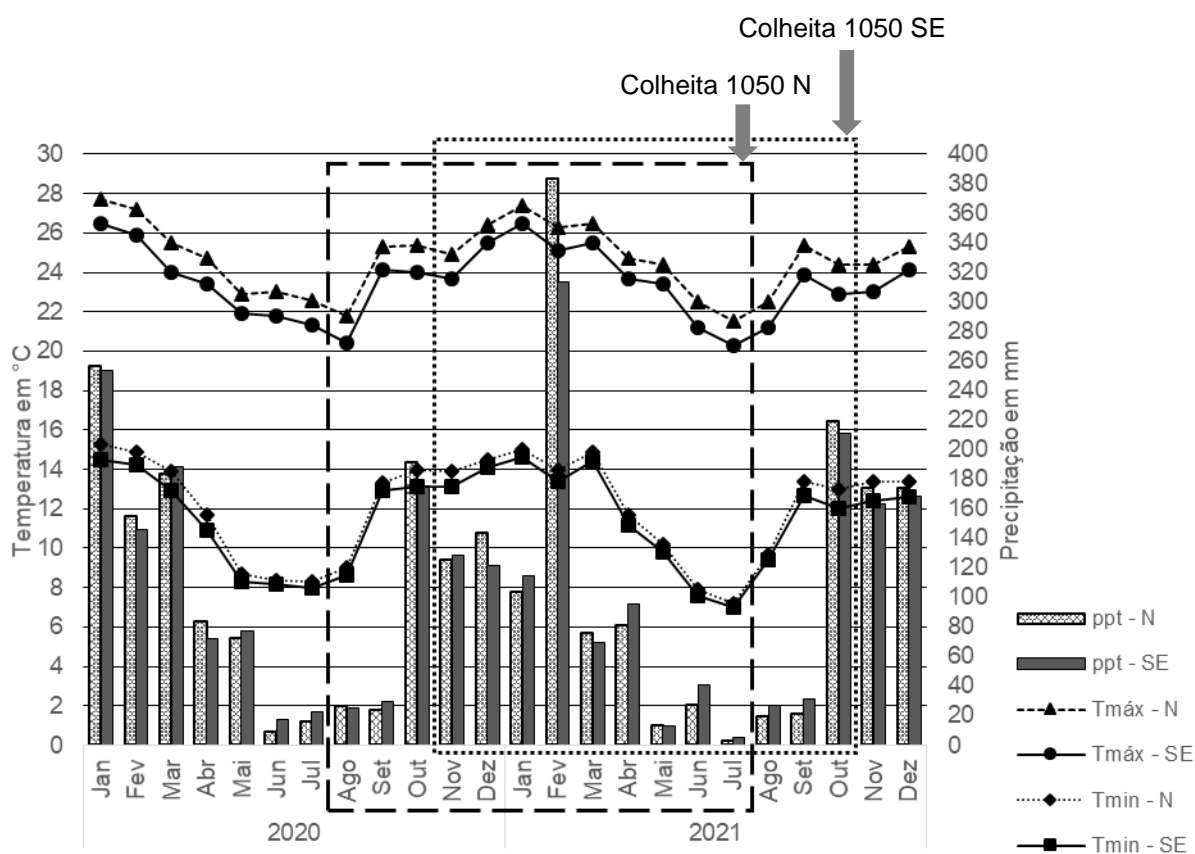


S: sul; O: oeste; Tmáx: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima; ppt: precipitação

Figura 3. Dados de temperatura máxima e mínima, precipitação e período de colheita dos experimentos a 950 m nas faces sul (S) e oeste (O).

Nos doze meses anteriores a colheita, a precipitação acumulada nos experimentos a 950 m de altitude foi de 1.108 e 1.178 mm, nas faces Sul e Oeste, respectivamente (Tabela 2). Sendo a maior diferença mensal observada no mês de fevereiro de 2021, onde a face Oeste acumulou 39 mm a mais que a face Sul.

Observa-se na Figura 4 e na Tabela 2 que a diferença entre as médias mensais de temperatura máxima entre os experimentos a 1050 m de altitude foi de 1,18°C; enquanto a face norte apresentou média de 24,76°C, a face sudeste apresentou média de 23,58°C. Comparados os experimentos 1050 N e 1050 SE, a diferença observada entre as médias mensais de temperatura mínima é de 0,5°C. Semelhante aos experimentos localizados nas altitudes 770 m e 950 m, o mês de fevereiro do ano de 2021 acumulou a maior quantidade de precipitação em ambos os experimentos a 1050 m de altitude, sendo observado o volume de 383 e 313 mm para as faces norte e sudeste, respectivamente (Figura 4). Enquanto o acumulado de precipitação anual foi de 1200 e 1170 mm, para as faces norte e sudeste, considerando os 12 meses anteriores a colheita.



SE: sudeste; N: Norte; Tmáx: temperatura máxima, Tmin: temperatura mínima; ppt: precipitação

Figura 4. Dados de temperatura máxima e mínima, precipitação e período de colheita dos experimentos a 1050 m nas faces sudeste (SE) e norte (N).

Os dados climáticos dos experimentos demonstram que os ambientes estudados possuem diferenças em relação a incidência de radiação solar, temperaturas e precipitação, e isso pode alterar o ciclo da planta.

Conforme relatado na literatura, o período de maturação dos frutos de café é influenciado pelas condições climáticas, que por sua vez afetam o rendimento e a qualidade da bebida. A altitude e o excedente de água afetam positivamente o tempo de maturação, enquanto o déficit hídrico e a maior temperatura do ar afetam negativamente. Por isso, destaca-se a importância de considerar as influências dos elementos climáticos na determinação do período de maturação das plantas de café (APARECIDO et al., 2018). Resultado semelhante em estudo com café conilon sugere que a exposição à radiação solar associada a disponibilidade hídrica podem impactar significativamente a classificação e a qualidade do café (CUSTÓDIO et al., 2015).

Sarzynski et al. (2023) relatam que o aumento de 2°C na temperatura alterou a composição química dos grãos de café. Por outro lado, temperaturas mais baixas e maiores elevações promovem melhores condições para a produção de café (CRIOLLO-VELÁSQUEZ; MUÑOZ-BELALCAZAR; LAGOS-BURBANO, 2020).

4.2. ANÁLISE SENSORIAL

Nos resultados da avaliação sensorial, as médias de nota final dos processamentos despulpado, fermentação com leveduras e descascado não diferiram entre si em ambas as faces de exposição a 770 m, porém, na face sudeste as médias de notas finais foram superiores e diferentes (Tabela 3). Já os grãos processados pelo método natural diferiram dos demais processamentos em ambas as faces de exposição do experimento, no entanto, as médias não diferiram entre as faces, apresentando as maiores notas finais a 770 m.

As médias dos processamentos despulpado, fermentação com leveduras e descascado foram inferiores em relação à média do tratamento natural que foi de 83,07. A média da nota final dos tratamentos do experimento 770 SE foi de 81,91 e de 80,46 no experimento 770 S, diferindo estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, indicando diferença entre as faces de exposição em relação as

notas sensoriais dos cafés avaliados. A média geral dos experimentos a 770 m de altitude foi de 81,18 com coeficiente de variação de 0,908%.

Tabela 3. Médias da característica nota final avaliada para a altitude 770 m em duas faces de exposição e quatro processamentos

Processamento	770 m		Média
	Sudeste	Sul	
Despolpado	81,17 b A	79,88 b B	80,53 b
Fermentação com leveduras	81,81 b A	80,01 b B	80,91 b
Descascado	81,13 b A	79,31 b B	80,22 b
Natural	83,52 a A	82,63 a A	83,07 a
Média	81,91 A	80,46 B	
Média Geral	81,18		
CV(%)	0,908		

¹Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na vertical e de pelo menos uma mesma letra maiúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se na Tabela 4 que na altitude de 950 m não foram observadas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos despolpado, fermentação com leveduras, descascado e natural em relação a nota final dos cafés avaliados em cada face, porém, para todos os processamentos foram observadas diferenças quanto as notas finais, na comparação entre as faces de exposição sul e oeste, sendo esta última responsável pelas maiores médias dos tratamentos. A média dos tratamentos também não apresentou diferença entre elas. Entretanto, a média dos experimentos diferiram estatisticamente, com o experimento 950 S obtendo média de 80,70 e o experimento 950 O com média de 82,60. A média geral dos experimentos a 950 m de altitude foi de 81,65 e coeficiente de variação de 0,860%.

De acordo com os dados da Tabela 5 os processos pós-colheita não afetaram significativamente as notas finais da bebida dentro de cada face de exposição. Entretanto, as notas dos cafés foram superiores a partir de grãos colhidos de plantas cultivadas na face sudeste em comparação com a face norte. A média da avaliação da nota final do experimento 1050 N foi de 80,57 e de 84,98 para o experimento 1050 SE, diferindo estatisticamente entre elas. Já a média geral dos experimentos a 1050 m de altitude foi de 82,77, com coeficiente de variação de 0,982%.

Tabela 4. Médias da característica nota final avaliada para a altitude 950 m em duas faces de exposição e quatro processamentos

Processamento	950 m						Média
	Sul			Oeste			
Despolpado	80,75	a	B	82,68	a	A	81,72 a
Fermentação com leveduras	80,58	a	B	82,61	a	A	81,60 a
Descascado	80,54	a	B	81,93	a	A	81,23 a
Natural	80,92	a	B	83,20	a	A	82,06 a
Média	80,70	B		82,60	A		
Média Geral	81,65						
CV(%)	0,860						

¹Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na vertical e de pelo menos uma mesma letra maiúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 5. Médias da característica nota final avaliada para a altitude 1050 m em duas faces de exposição e quatro processamentos

Processamento	1050 m						Média
	Norte			Sudeste			
Despolpado	80,25	a	B	85,54	a	A	82,90 a
Fermentação com leveduras	80,76	a	B	84,36	a	A	82,56 a
Descascado	80,02	a	B	84,82	a	A	82,42 a
Natural	81,26	a	B	85,20	a	A	83,23 a
Média	80,57	B		84,98	A		
Média Geral	82,77						
CV(%)	0,983						

¹Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula na vertical e de pelo menos uma mesma letra maiúscula na horizontal, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Todos os resultados das médias da nota final mostram que os cafés submetidos aos diferentes processos pós-colheita não diferiram entre eles dentro da mesma face de exposição da lavoura observada em todas as altitudes, exceto o tratamento natural que obteve maiores notas na altitude de 770 m. Isso indica que os tipos de processamentos pós-colheita utilizado no estudo não afetaram significativamente a nota final dos cafés.

Resultado semelhante é relato por Worku et al. (2018), que concluíram que a qualidade final da bebida e os escores gerais preliminares de qualidade não são afetados pelo processamento pós-colheita. Indicando que diferentes métodos de processamento podem produzir cafés especiais (RODRIGUEZ; GUZMAN;

HERNANDEZ, 2020). Entretanto, divergindo parcialmente desses resultados, Scholz et al. (2019), estudando sobre atributos sensoriais e químicos de cafés submetidos a diferentes processos pós-colheita, observaram um impacto consistente na qualidade dos grãos de café e nos atributos sensoriais da bebida final do café entre o processo natural e o descascado.

Diferentes técnicas de processamento pós-colheita podem levar a alterações na constituição dos grãos de café, abrangendo açúcares, compostos fenólicos, ácidos clorogênicos e lipídios (KITZBERGER et al., 2020). A avaliação sensorial classificou o café obtido pelo processo descascado como café especial excelente, enquanto os cafés obtidos a partir dos métodos de processamento despulpado e natural foram classificados como cafés especiais muito bons (BARRIOS-RODRÍGUEZ et al., 2021). Observou-se que o processamento via úmida produz características sensoriais superiores, incluindo sabor e aroma, em contraste com o processamento a seco (BORÉM et al., 2018).

Contudo, quando os resultados das notas finais dos processos pós-colheita são comparados entre as faces de exposição em cada altitude estudada, os métodos pós-colheita diferem estatisticamente em relação a nota final da bebida, exceto o tratamento natural a 770 m, indicando que potencial diferença na qualidade dos cafés produzidos na mesma altitude não está associada ao método de processamento, mas sim em função da face de exposição da lavoura de onde os cafés foram produzidos.

Esses resultados contrastam com estudos que indicam que as propriedades físicas, químicas e os atributos sensoriais dos grãos de café são influenciados pelos processos pós-colheita (HAILE; KANG, 2019, MARTINS et al., 2020; COSTA et al., 2021; WORKU; ASTATKIE; BOECKX, 2023b). Pesquisas sugerem que o café arábica cultivado em diferentes altitudes e processado usando métodos úmidos melhora o sabor e o aroma em comparação com o método de processamento a seco (BOLKA; EMIRE, 2020). A inter-relação das características climáticas da região de cultivo e os modos de processamento podem resultar em um produto com um perfil de sabor individual (PEREIRA, L. L. et al., 2021a).

Os resultados das análises sensoriais das Tabelas 3, 4 e 5 evidenciam que existem diferenças na qualidade final dos cafés avaliados em todas as altitudes

estudadas em relação a face de exposição da lavoura ao sol. Sendo observado que as maiores notas por altitude foram dos experimentos 770 SE, 950 O e 1050 SE, em oposição as menores notas dos experimentos 770 S, 950 S e 1050 N.

Analisando os dados climáticos e sensoriais observa-se que em cada altitude estudada, os experimentos com menores médias mensais de temperatura máxima e/ou mínima e menor incidência de radiação solar foram os que obtiveram maiores notas sensoriais, e que as médias dos experimentos foram aumentando de acordo com o aumento da altitude das áreas estudadas, sugerindo uma influência exercida dos fatores climáticos sobre a qualidade final da bebida do café. Com esses resultados deduz-se que altitudes e faces de exposição com médias mensais de temperaturas e incidência de radiação solar menores estão associadas a cafés de maiores pontuações finais.

No entanto, Ferreira et al. (2016) em seu estudo na região de “Matas de Minas” relatam que não houve diferenças conclusivas entre os cafés com base na exposição do lado da montanha, no nível de altitude e nas variedades analisadas, pois as características sensoriais individuais da qualidade da bebida de café eram semelhantes em ambos os lados da exposição à montanha.

Por outro lado, Pereira et al. (2020) estudando processos pós-colheita via úmida enfatizam que os resultados da análise sensorial revelaram que os cafés processados em altitudes entre 774 e 1.033 m tinham características sensoriais diferentes. Já Pereira et al. (2018), avaliaram a influência da radiação solar e diferentes processamentos na qualidade final da bebida, em lavouras nas faces sul-sudeste e leste, e constataram que a menor incidência de radiação solar teve um efeito significativo na qualidade geral do café arábica, principalmente quando combinado com tipo de processamento pós-colheita.

Em estudo semelhante realizado na cidade de Manhuaçu-MG, em três altitudes (950, 1050 e 1150 m) e duas faces da exposição do café à radiação solar (face leste: sol da manhã e face oeste: sol da tarde), Ferreira et al. (2022), relatam que cafés cultivados em altitudes de 950 e 1050 m na face da planta exposta ao sol da manhã mostraram uma relação positiva com as características de qualidade física e sensorial em comparação com o café cultivado na face do sol da tarde nas mesmas altitudes.

No entanto, na maior altitude estudada (1150 m), com a face da planta exposta ao sol da tarde, resultou em respostas favoráveis à qualidade do café. Sugerindo que a altitude e a radiação solar desempenham um papel significativo na determinação da qualidade do café, com diferentes altitudes e exposição ao sol tendo efeitos variados nas características físicas e sensoriais do café.

Isso sugere que o clima durante o ciclo da cultura afeta a qualidade natural da bebida de café, indicando a relação entre elementos meteorológicos e qualidade da bebida de café (ROLIM et al., 2020). Como é relatado na literatura a influência significativa da altitude na qualidade do café, onde altitudes mais altas geralmente estão associadas a melhores atributos sensoriais e maior qualidade da bebida (MARTINEZ et al., 2021; FILETE et al., 2022; VELÁSQUEZ; BANCHÓN, 2023).

A variação nos atributos do café com o incremento altitudinal foi atribuída à diminuição da temperatura ambiente, que prolongou o período de maturação do café e auxiliou no aumento do acúmulo de sacarose e lipídios dentro dos grãos (KAMAL et al., 2021). O equilíbrio de compostos voláteis e não voláteis, que são cruciais para otimizar a qualidade do café, também são afetados pela altitude (AHMED et al., 2021).

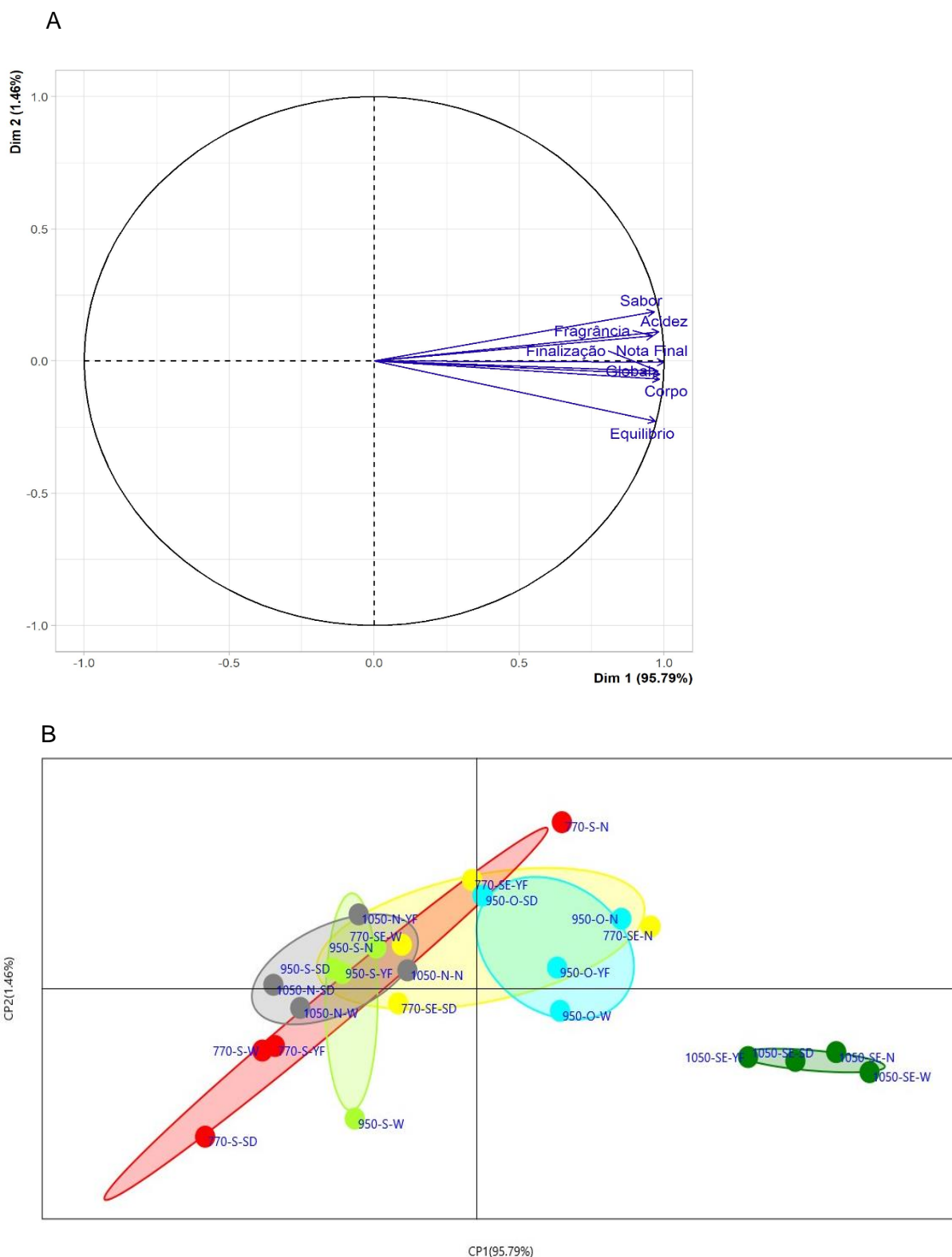
Um estudo na Reserva da Biosfera de Kafa, na Etiópia, e outro na Indonésia concluíram que o gradiente de elevação teve um efeito significativo nas qualidades físicas e sensoriais, com cafés de maior altitude tendo melhor qualidade de bebida (ASSA et al., 202; TASSEW et al., 2021). Porém, a elevação por si só não determina a qualidade da bebida (CRIOLLO-VELÁSQUEZ; MUÑOZ-BELALCAZAR; LAGOS-BURBANO, 2020). Esses estudos estão em concordância com os resultados encontrados no presente estudo, onde observa-se que na média dos experimentos por altitude as notas aumentam de acordo com o aumento da altitude, porém, os cafés produzidos a 770 m na face sudeste alcançaram a nota final de 81,91, sendo superior as notas dos grãos oriundos das altitudes 950 S e 1050 N, que foram de 80,70 e 80,57; respectivamente. Isso sugere que apenas a altitude não foi o fator principal para as diferenças sensoriais encontradas, mas que outros elementos meteorológicos como temperaturas máximas e mínimas, incidência de radiação solar e precipitação, podem ter sido fundamentais para esse resultado.

As mudanças climáticas, incluindo ondas de calor e secas, afetam diretamente a produção de café arábica devido à sua maior sensibilidade às mudanças climáticas (VELÁSQUEZ; BANCHÓN, 2023). Essas mudanças, que levam ao aumento das temperaturas nas regiões tropicais, podem ter um impacto negativo na qualidade e na bioquímica dos grãos de café. O aumento da incidência de radiação solar e o aquecimento podem influenciar negativamente a síntese de precursores de qualidade dos grãos. As maiores pontuações da bebida e o café de melhor qualidade são produzidos em altitudes mais altas (GETACHEW et al., 2022).

Observa-se nas Figuras 5A e 5B que todos os cafés avaliados neste estudo foram agrupados em função de três altitudes, duas vertentes e quatro processamentos, quanto às características sensoriais. Para isso foram utilizados os dois primeiros componentes principais.

O gráfico da Figura 5B apresenta a dispersão dos 24 cafés quanto às características sensoriais, e pode-se observar que a dispersão com base nas coordenadas relativas aos dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2 (Dimensões), formaram seis grupos distintos, e que os dois componentes absorveram 97,14% da variação existentes nas características originais, sendo o CP1 (Dim1) com 95,79% e o CP2 (Dim2) com 1,46%, sendo este, inexpressivo para absorver a variabilidade das variáveis originais.

Bertrand et al. (2012) relatam que a análise de componentes principais (PCA) baseada na análise sensorial descobriu que variáveis climáticas, como temperaturas médias diárias e radiação solar, eram variáveis suplementares que contribuíram para a variabilidade na qualidade do café.



SE: sudeste; S: sul; O: oeste; N: Norte; W: despoldado; SD: descascado; SY: fermentado com leveduras; N: natural

Figura 5. Diagrama de dispersão (A) e gráfico de agrupamento (B) em relação aos dois primeiros componentes principais, obtido a partir de características sensoriais de 24 cafés obtidos de três altitudes, duas vertentes e quatro processamentos.

Confirmando os resultados da Tabela 5, a Figura 5B mostra os seis grupos, sendo o grupo A (cor verde escuro) formado pelos processamentos de altitude 1050 m e vertente sudeste, apresenta as maiores notas finais, com média dos quatro processamentos de 84,98 pontos. É possível observar ainda na Figura 5B, que quanto mais a direita no componente principal 1, maiores notas finais. Por fim, o Grupo G, de cor vermelha, referente ao experimento 770 S apresenta a menor médias de processamentos com 80,46 pontos, confirmando os resultados das Tabelas 3, 4 e 5.

De acordo com a Figura 5A, no primeiro componente principal destacaram-se todas as variáveis e foram observadas fortes correlações entre as mesmas, conforme os ângulos agudos formados entre elas, o que pode ser confirmado pelo gráfico da Figura 6, onde todas as correlações de Pearson entre duas variáveis sensoriais foram positivas e significativas a 1% de probabilidade. As variáveis sensoriais, além de apresentarem fortes correlações entre elas, os autovetores dessas contribuem para o autovalor do CP1 de 7.663 com 95,79% da variabilidade absorvida das variáveis originais. Com isso, quanto mais à direita no componente principal 1 (Figura 5A), maiores são notas finais dos cafés e vice-versa.

Os gráficos da Figuras 7A e 7B apresentam a dispersão dos 24 cafés quanto às características nuances, e pode-se observar na dispersão com base nas coordenadas relativas aos dois primeiros componentes principais, CP1 e CP2 (Dimensões), que foram divididos em seis grupos distintos, três altitudes e duas vertentes, sendo que os dois componentes absorveram 45,18% da variação existentes nas características originais, o CP1 (Dim1) com 27.01% e o CP2 (Dim2) com 18,17%.

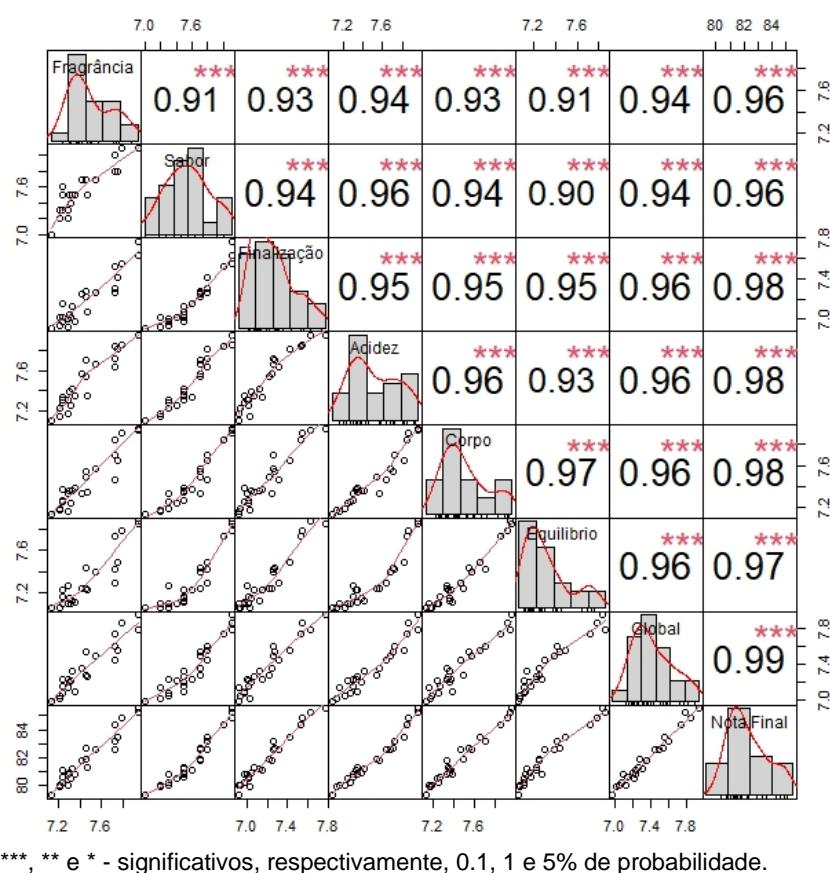


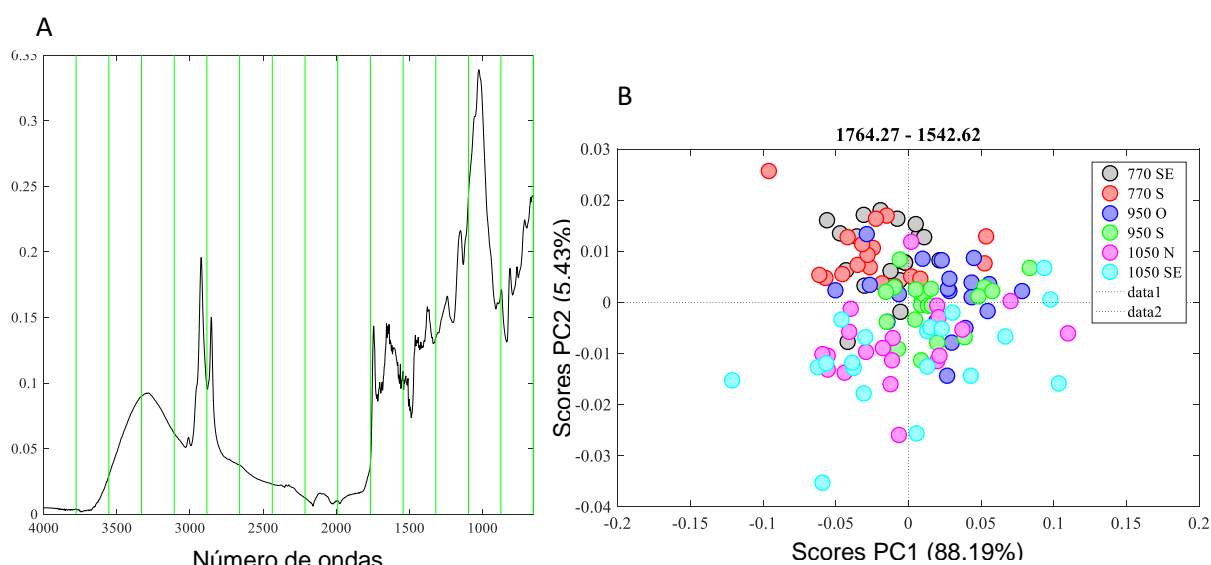
Figura 6. Correlação de Pearson entre as variáveis sensoriais.

Ainda de acordo com a Figura 7A e 7B, os melhores cafés foram obtidos na altitude 1050 m e vertente sudeste, e estão correlacionados com várias nuances que determinam a qualidade sensorial do café como: Floral, frutado, cremoso, alcoólico, acidez licorosa, jasmim, licor, manga, delicado e fermentado, sendo que os autovetores dessas variáveis contribuem para 59,99% para o autovalor do CP1, ou seja, 16,03% do total de 27,01% da variabilidade absorvida das variáveis originais.

A Figura 7B mostra os seis grupos que agruparam os processamentos quanto às altitudes e às vertentes, sendo o grupo A (cor verde escuro) formado pelos processamentos de altitude 1050 m e vertente sudeste, confirmando os resultados da Tabela 5, apresentando as maiores notas finais, com média dos quatro processamentos de 84,98 pontos. Por fim, o Grupo G, de cor vermelha, apresenta a menor média de processamentos com 80,46 pontos, formado pelos processos a 770 m face sul, confirmando os resultados da Tabela 3.

4.3. ANÁLISES QUÍMICAS POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO MÉDIO (FTIR)

A figura 8A mostra todos os intervalos de número de ondas nos quais o espectro foi dividido, sendo que os responsáveis pelas maiores diferenças entre os experimentos, que são os seguintes: 3328 a 3107, 3105 a 2883, 1764 a 1542, 1540 a 1319, e 1093 a 874 cm^{-1} . Essas regiões espectrais indicam possíveis diferenças na composição química dos cafés de cada experimento indicadas pela análise FTIR, podendo estar associadas a maior ou menor presença de compostos químicos como: ácido clorogênico (CGA), ácido pirúvico, piridinas, lipídios, cafeína, trigonelina, polissacarídeos, ácido quínico, triglicerídeos, proteínas, ácidos orgânicos e carboidratos (Tabela 6). A espectroscopia de infravermelho médio foi usada para determinar os grupos químicos que contribuem para as qualidades sensoriais da bebida de café (GOMES et al., 2023).



SE: sudeste; S: sul; O: oeste; N: Norte; W: despoldado.

Figura 8. A) Gráfico de loadings das variáveis originais no primeiro componente principal. B) Gráfico de Scores para CP1 e CP2 dos 06 experimentos no intervalo de número de ondas 1764 – 1542 cm^{-1} .

Na Figura 8B são exibidos os dados da análise do infravermelho médio (FTIR) para todos experimentos no intervalo de número de ondas de 1764 a 1542 cm^{-1} , tendo esta banda espectral como responsável pelas maiores diferenças entre os experimentos e estando associada a presença de lipídios, cafeína, trigonelina, ácido

clorogênico, triglicerídeos e carboidratos (REIS et al., 2017; CRAIG et al., 2015; ABREU et al., 2020; CRAIG et al., 2018; FIORESI et al., 2021; FLORES-VALDEZ et al., 2020; ZHANG et al., 2016; CRAIG; FRANCA; OLIVEIRA, 2011; DIAS et al., 2018). O componente principal 1 (PC1) foi responsável por explicar 88,19% da variância total e o PC2 por 5,43%.

Segundo Oliveira et al. (2022), diferentes classes de compostos contribuem para a discriminação química do café em distintas altitudes. Lipídios, trigonelina, citrato e malato são os principais compostos abaixo de 969 m, enquanto hidroximetilfurfural, ácido quínico, cafeína e ácido fórmico são importantes em altitudes mais elevadas, segundo o estudo que constatou que a qualidade química e sensorial do café é influenciada pela altitude de plantio e pelos métodos de fermentação.

Ainda segundo a Figura 8B os cafés cultivados 770 m nas faces sudeste e sul se agruparam no CP1 negativa e na CP2 positiva, enquanto os experimentos 1050 N e 1050 SE se diferenciam dos demais agrupando-se ao longo da CP2 negativa. É possível observar uma tendência de separação dos experimentos por agrupamentos em relação a altitude, indicando diferenças na composição química dos cafés produzidos e estudados nas diferentes altitudes e faces de exposição da lavoura.

A espectroscopia de infravermelho médio é capaz de identificar as classes de compostos químicos responsáveis pela separação dos perfis de torrefação de cafés cultivados em diferentes altitudes. Quando usado em conjunto com a análise sensorial, pode contribuir para uma melhor compreensão da composição química dos grãos de café, favorável à maior qualidade do café (DEBONA et al., 2021).

Tabela 6. Bandas de absorção e compostos químicos associados

Experimentos	Região Espectral		Referência
	Número de ondas (cm ⁻¹)	Composto associado	
770 SE 770 S	3328 – 3107	Ácido clorogênico, ácido pirúvico, piridina	DIAS et al., 2018 FIORESI et al., 2021
950 S 950 O	3105 – 2883	Lipídios; polissacarídeos; cafeína	REIS et al., 2017 CRAIG et al., 2018 FLORES-VALDEZ et al., 2020
1050 N 1050 SE	1764 – 1542	Lipídios; carboidratos, ácido clorogênico; cafeína; trigonelina; triglicerídeos	REIS et al., 2017 CRAIG et al., 2015 ABREU et al., 2020 CRAIG et al., 2018 FIORESI et al., 2021 FLORES-VALDEZ et al., 2020 ZHANG et al., 2016 CRAIG; FRANCA; OLIVEIRA, 2011 DIAS et al., 2018
770 SE 770 S 1050 N 1050 SE	1540 – 1319	Trigonelina e piridina; proteínas e ácidos orgânicos; carboidratos	ABREU et al., 2020 ZHANG et al., 2016 LINK et al., 2014
950 S 950 O	1093 – 874	Polissacarídeos; ácido clorogênico; ácido quínico	ZHANG et al., 2016 REIS et al., 2017 LINK et al., 2014 DIAS et al., 2018

SE: sudeste; S: sul; O: oeste; N: Norte; W: despoldado.

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Munyendo; Njoroge; Hitzmann, 2021.

As bandas espectrais responsáveis pelas principais diferenças químicas entre os experimentos 770 SE e 770 S foram as faixas de número de ondas de 3328 a 3107 cm⁻¹ e de 1540 a 1319 cm⁻¹, conforme a Figura 9 (A e C). No intervalo de 3328 a 3107 cm⁻¹, o CP1 foi responsável por 28,2% da variância total, e esta banda espectral indica a possível presença de ácido clorogênico, ácido pirúvico e/ou piridinas (DIAS et al., 2018; FIORESI et al., 2021). Enquanto que na banda de 1540 a 1319 cm⁻¹ o CP2 explica 21,29% da variância total, estando associada a presença de trigonelina, piridina; proteínas, ácidos orgânicos e/ou carboidratos (ABREU et al., 2020; ZHANG et al., 2016; LINK et al., 2014).

A baixa altitude, com um clima mais úmido e quente, leva ao desenvolvimento de compostos orgânicos voláteis (VOC) relacionados a notas frutadas, verdes e amanteigadas, resultando em um aroma mais delicado, mas a altitude e o tempo de fermentação também desempenham um papel na formação do perfil volátil (BODNER

et al., 2019). Pereira L. L. et al (2021b) relatam que cafés de baixa qualidade possuem níveis mais altos de compostos fenólicos, mas resultados de outros estudos foram relativamente divergentes.

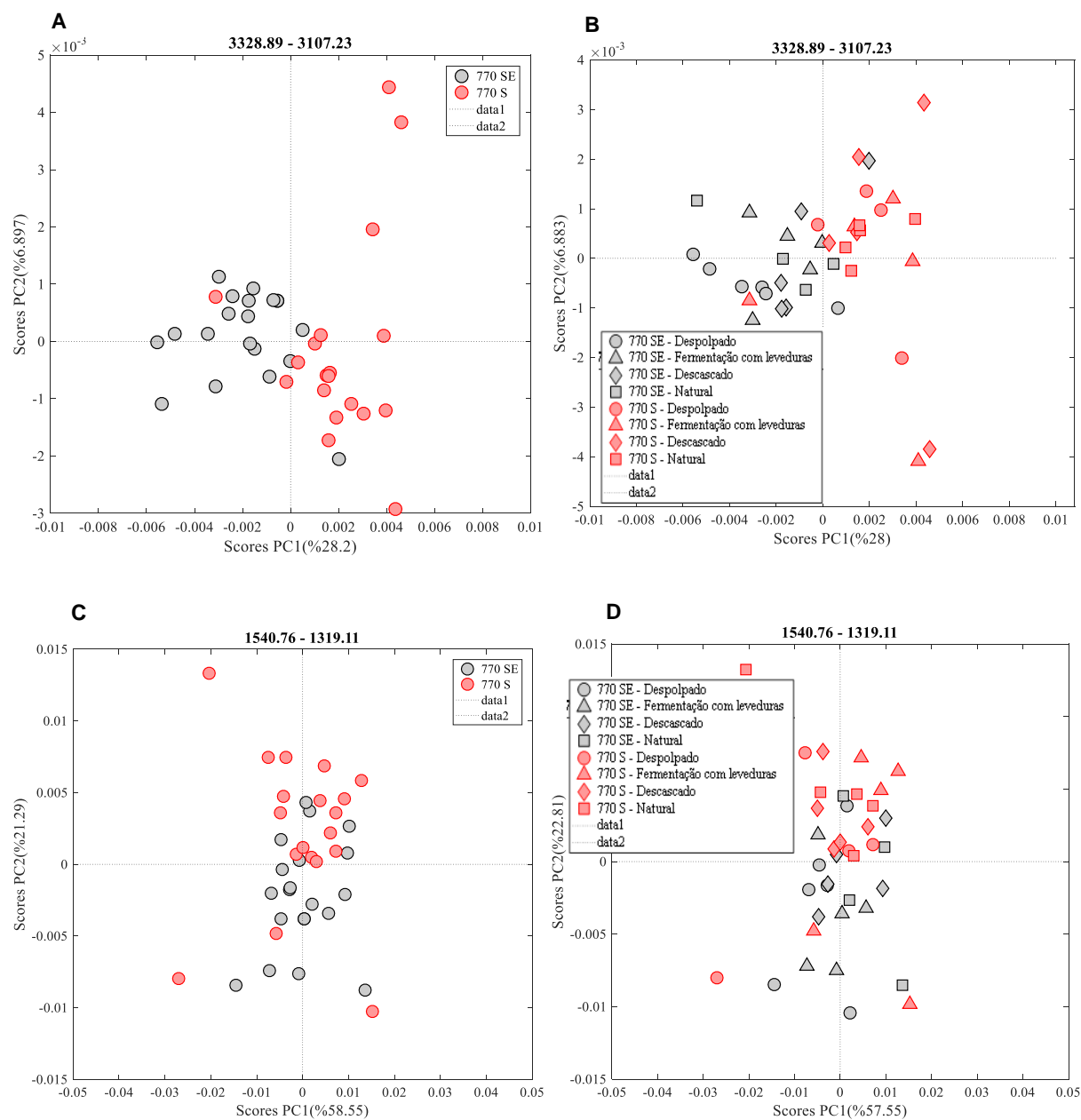


Figura 9. Scores do CP1 e CP2 dos experimentos 770 SE e 770 S no intervalo de número de ondas 3328 – 3107 cm^{-1} e 1540 – 1319 cm^{-1} (A e C) e dos tratamentos (B e D).

Quando se analisa os experimentos 950 S e 950 O de acordo com a Figura 10 (A e C), no intervalo de número de ondas de 1093 a 873 cm^{-1} o CP1 foi capaz de explicar 83,38% da variabilidade dos dados. Já o CP2 na região espectral de 3105 a

2883 cm^{-1} foi responsável por 12,54% da variância total entre os experimentos. Implicações semelhantes são observadas para os resultados dos dados do infravermelho para os tratamentos pós-colheita. Os compostos associados a banda espectral de 3105 a 2883 cm^{-1} são os lipídios, polissacarídeos e/ou cafeína (REIS et al., 2017; CRAIG et al., 2018; FLORES-VALDEZ et al., 2020). E para o intervalo 1093 a 874 são os polissacarídeos, ácido clorogênico e/ou ácido quínico ZHANG et al., 2016; REIS et al., 2017; LINK et al., 2014; DIAS et al., 2018).

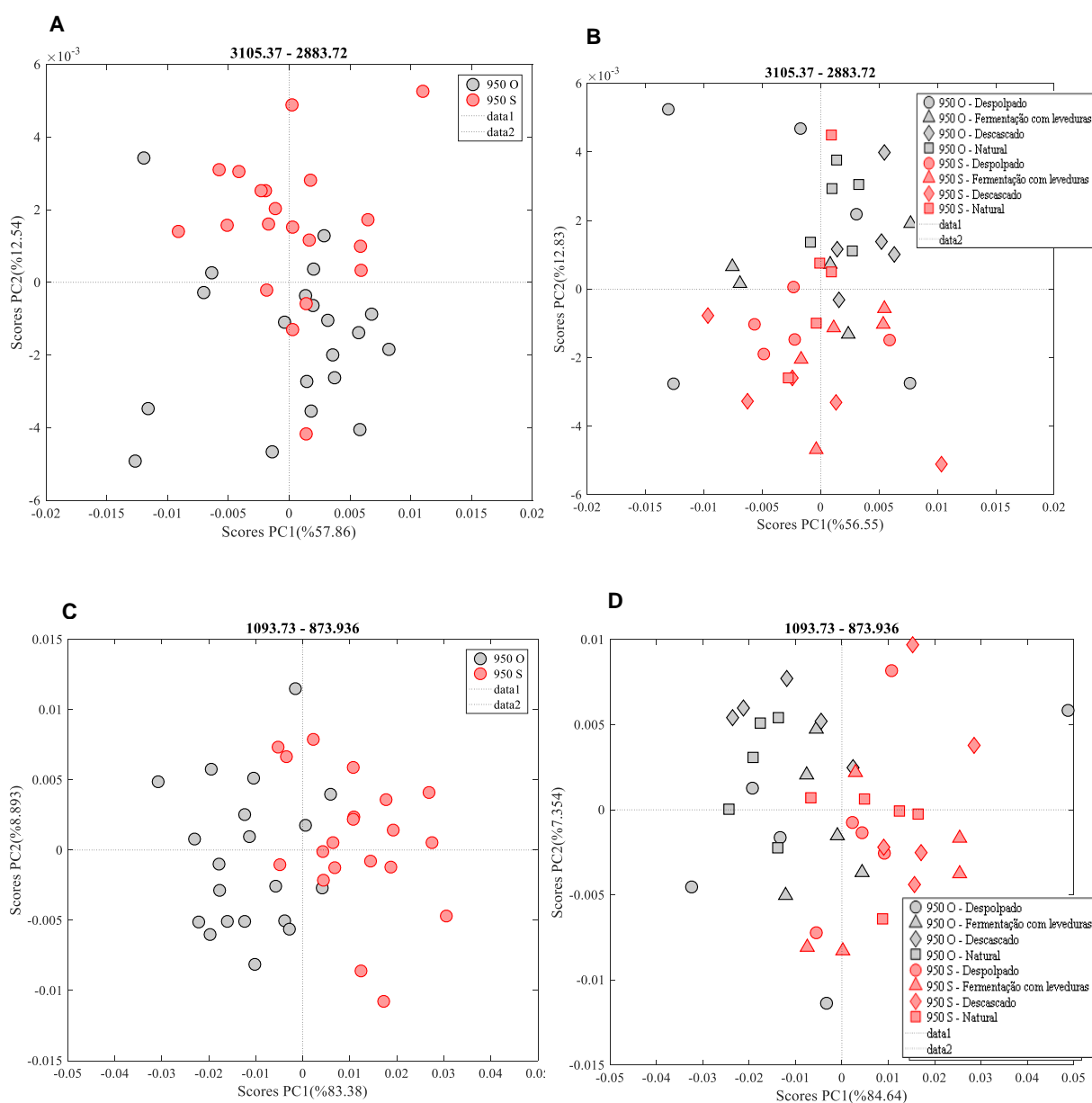


Figura 10. Scores do CP1 e CP2 dos experimentos 950 S e 950 O no intervalo de número de ondas 3105 – 2883 cm^{-1} e 1093 – 874 cm^{-1} (A e C) e dos tratamentos (B e D).

O conteúdo de cafeína dos grãos de café diminui à medida que a altitude do terreno aumenta, e há uma forte correlação negativa entre o conteúdo de cafeína e a altitude. As variedades de café cultivadas em várias altitudes podem ter diferentes composições bioquímicas, como níveis distintos de cafeína, CGAs e ácido nicotínico, que podem influenciar muito o sabor, o aroma e os atributos sensoriais da qualidade da bebida de café, bem como os benefícios dietéticos (GIRMA; GURE; WEDAJO, 2020).

Observa-se de acordo com a Figura 11 que para o intervalo de números de ondas compreendidos entre 1764 e 1542 cm^{-1} , a PC1 foi de 92,85% e PC2 de 2,94%, sendo esta última responsável pelo agrupamento das amostras do experimento 1050 N negativamente e do 1050 SE positivamente correlacionados ao PC2. O resultado observado para a banda espectral de 1540 a 1319 cm^{-1} evidencia que o PC1 e PC2, explicam 76,77% e 11% da variância dos dados, respectivamente. Esses dados sugerem que em ambas as bandas espectrais existem diferenças entre os experimentos, o que enseja em composições químicas também distintas entre eles. Os compostos químicos associados para a banda espectral de 1764 e 1542 cm^{-1} são os mesmos relatados anteriormente na comparação geral dos experimentos, e para a banda espectral de 1540 a 1319 cm^{-1} são os mesmos relatados na análise dos experimentos 770 SE e 770 S, conforme os dados da Tabela 6.

Os compostos fenólicos contribuem para o sabor e aroma característicos da bebida de café (ABRAHÃO et al., 2010). As áreas de cultivo de café acima de 1000 m do nível do mar foram associadas a café de melhor qualidade e com menores teores de ácidos clorogênicos (WORKU; ASTATKIE; BOECKX, 2023a).

O sabor e o aroma do café desenvolvem-se durante a torra e têm uma química muito complexa, que envolve centenas de reações simultâneas. Nela ocorrem as reações de Maillard e Strecker, degradação de proteínas, polissacarídeos, trigonelina e ácidos clorogênicos (FRANCA et al., 2005). Cardoso et al. (2023) em seu estudo, constataram que o conteúdo de proteínas solúveis e açúcares redutores nos grãos de café está relacionado à qualidade da bebida de café, pois esses compostos são precursores da reação de Maillard e da produção de aroma, porém, os autores ressaltam que é importante observar que, embora as proteínas solúveis e os açúcares

redutores desempenhem um papel na qualidade do café, existem outros compostos e fatores que também contribuem para a qualidade geral da bebida.

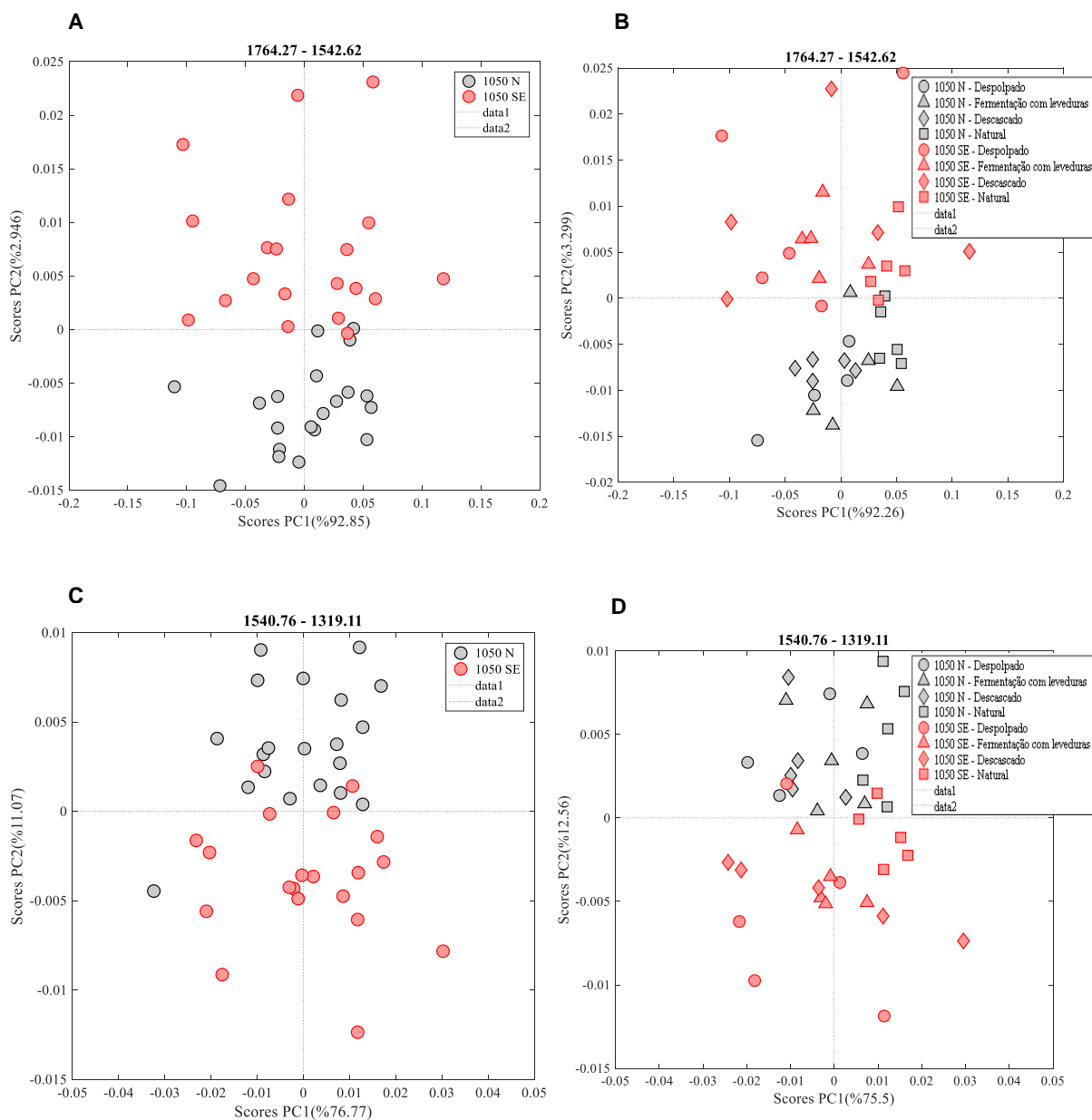


Figura 11. Scores do CP1 e CP2 dos experimentos 1050 N e 1050 SE no intervalo de número de ondas 1764 – 1542 cm⁻¹ e 1540 – 1319 cm⁻¹ (A e C) e dos tratamentos (B e D).

De acordo com os resultados das análises espectroscópicas (FTIR) e os das análises sensoriais, em todas as altitudes estudadas, seus respectivos experimentos apresentaram diferenças entre si, mas não entre os tratamentos pós-colheita dentro de cada experimento, exceto o tratamento natural a 770 m. Rodriguez, Guzman e

Hernandez (2020) relatam que o tipo de método de processamento usado não é relevante para as propriedades químicas finais do café torrado.

Diferentemente desses resultados, Barrios-Rodríguez et al. (2021), relatam que a Análise de Componentes Principais (PCA) baseada em espectros de FTIR discriminou com sucesso as amostras em três grupos com base nos métodos de processamento pós-colheita. O tipo de processamento pós-colheita (natural, descascado ou despulpado) influenciou significativamente a composição química dos grãos verdes e torrados de café arábica (YULIANTI et al., 2023). Análises químicas através de espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), são essenciais para determinar a formação e perda de metabólitos durante todo o processo pós-colheita e após a torrefação (BRESSANI et al., 2021).

Os resultados apresentados nas Figuras 9, 10 e 11 indicam diferenças na composição química dos cafés produzidos em cada face de exposição da lavoura para cada altitude estudada e isso pode interferir nos atributos sensoriais, contribuindo para a qualidade final da bebida do café. Essas diferenças apontadas podem estar associadas a influência do clima, principalmente, radiação solar e temperaturas, conforme observado nos dados climáticos e nas análises sensoriais deste estudo.

Sabe-se que condições edafoclimáticas e as comunidades microbianas (bactérias e fungos) do solo e dos frutos do cafeeiro, podem influenciar a qualidade química e sensorial da bebida do café (SIMMER et al., 2022). Verificou-se que a temperatura tem uma influência maior na composição química dos grãos de café em comparação com o teor de água do solo (SARZYNSKI et al., 2023). Dessa forma, a composição química dos grãos de café como lipídios, ácidos clorogênicos, açúcares e cafeína, são significativamente influenciados pelo ambiente, como a temperatura, durante o desenvolvimento dos grãos (JOËT et al., 2010).

Estudos relatam que dados espectroscópicos foram capazes de classificar amostras de café de acordo com atributos sensoriais e discriminar as nuances, com alta velocidade de análise, preparação mínima da amostra e ausência de geração de resíduos, confirmando o potencial do FTIR e da quimiometria na avaliação da qualidade do café (BELCHIOR et al., 2019; MENDES; DUARTE, 2021; BELCHIOR; BOTELHO; FRANCA, 2022).

5. CONCLUSÕES

A menor incidência de radiação solar associada a menores temperaturas nas faces de exposições dos experimentos estudados produzem cafés com maiores notas nas avaliações sensoriais.

O tipo de processamento pós-colheita do café não foi significativo para a qualidade final da bebida, exceto para o tratamento natural a 770 m, que proporcionou maiores notas em relação aos demais tratamentos em ambas as faces de exposição.

Os cafés produzidos a 1050 m de altitude com a face de exposição voltada para o sudeste alcançaram as maiores notas na avaliação sensorial independentemente do método pós-colheita utilizado, e estavam associados a compostos químicos como lipídios, carboidratos, ácido clorogênico, cafeína, trigonelina e triglicerídeos; e a nuances floral, frutado, cremoso, alcoólico, acidez licorosa, jasmim, licor, manga, delicado e fermentado. A menor nota na avaliação sensorial foi proveniente do café produzido a 770 m de altitude com a face voltada para o sul, estando associada aos compostos químicos: ácido clorogênico, ácido pirúvico e piridina, e a nuances comum, flat, chocolate e limpo.

A espectroscopia de infravermelho médio (FTIR) foi capaz de identificar diferentes perfis químicos dos cafés em função da altitude, face de exposição e da qualidade final da bebida. E o agrupamento dos experimentos através da análise de componente principal foi capaz de formar grupos distintos compatíveis com as avaliações sensoriais.

6. REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. TerraClimate, a High-Resolution Global Dataset of Monthly Climate and Climatic Water Balance from 1958–2015. **Scientific Data**, v. 5, n. 1, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/sdata.2017.191>>.

ABRAHÃO, S. A.; PEREIRA, R. G.; DUARTE, S. M.; LIMA, A. R.; ALVARENGA, D. J.; FERREIRA E. B. Compostos bioativos e atividade antioxidante do café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 2, p. 414–420, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-70542010000200020>>.

ABREU, M. B.; MARCHEFAVE, G. G.; BRUNS, R. E.; SCARMINIO, I. S.; ZERAIK, M. L. Spectroscopic and Chromatographic Fingerprints for Discrimination of Specialty and Traditional Coffees by Integrated Chemometric Methods. **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 12, p. 2204–2212, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12161-020-01832-1>>.

ADANE, A.; BEWKET, W. Effects of Quality Coffee Production on Smallholders' Adaptation to Climate Change in Yirgacheffe, Southern Ethiopia. **International Journal of Climate Change Strategies and Management**, v. 13, n. 4/5, p. 511–528, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/ijccsm-01-2021-0002>>.

ADHIKARI, M.; ISAAC, E. L.; PATERSON, R. R.; MASLIN, M. A. A Review of Potential Impacts of Climate Change on Coffee Cultivation and Mycotoxigenic Fungi. **Microorganisms**, v. 8, n. 10, p. 1625, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8101625>>.

AHMED, S.; BRINKLEY, S.; SMITH, E.; SELA, A.; THEISEN, M.; THIBODEAU, C.; WARNE, T.; ANDERSON, E.; VAN DUSEN, N.; GIULIANO, P.; IONESCU, K. E.; CASH, S. B. Climate change and coffee quality: Systematic review on the effects of environmental and management variation on secondary metabolites and sensory attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. **Frontiers in plant science**, v. 12, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2021.708013>>.

AKBAR, Z.; IDROES, R.; GINTING, B.; KARMA, T.; RAHIMAH, S.; HELWANI, Z.; YUSUF, M. Identification of Gayo arabic coffee beans and powder using the FTIR-PCA combination method. **IOP conference series. Materials science and engineering**, v. 1087, n. 1, p. 012059, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1757-899x/1087/1/012059>>.

ALCANTARA, G. M. R. N.; DRESCH, D.; MELCHERT, W. R. Use of Non-Volatile Compounds for the Classification of Specialty and Traditional Brazilian Coffees Using Principal Component Analysis. **Food Chemistry**, v. 360, n. 130088, p. 130088, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130088>>.

ANACONA, C. A.; BONILLA, B. P.; CABRERA, E. V.; PINO, A. F. Evaluation of cup profile for post-harvest in coffee variety Castillo from Cauca department. **Trends in Sciences**, v. 19, n. 12, p. 4526, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.48048/tis.2022.4526>>.

APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; MORAES, J. R.; VALERIANO, T. T.; LENSE, G. H. Maturation Periods for *Coffea Arabica* Cultivars and Their Implications for Yield and Quality in Brazil. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 98, n. 10, p. 3880–3891, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.8905>>.

ASSA, A.; LOPPIES, J. E.; AMALIA, A. N.; INDRIANA, D.; MAMANG; UTAMI, R. R.; ARIYANTI, M.; WINALDI, A. Chemical compounds and sensory characteristics of Arabica coffee (*Coffea arabica*) as a novel specialty coffee from Sinjai Regency, Indonesia. **Food Research**, v. 5, n. 2, p. 107–112, 2021. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.5\(s2\).001](http://dx.doi.org/10.26656/fr.2017.5(s2).001)>.

BARBOSA, J. N.; BORÉM, F. M.; ALVES, H. M. R.; CIRILLO, M. A.; HANSON, C. M. F. M. S. Isotopic signature of the relation between environment and the quality of spatial coffee. **African Journal of Agricultural Research**, v. 14, n. 6, p. 354–360, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5897/AJAR2018.13633>>.

BARRA, G. M. J. The coffee quality program in Brazil. **Coffee Consumption and Industry Strategies in Brazil**. Elsevier, 2020. p. 65–90. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814721-4.00013-5>>.

BARRIOS-RODRÍGUEZ, Y. F.; ROJAS REYES, C. A.; TRIANA CAMPOS, J. S.; GIRÓN-HERNÁNDEZ, J.; RODRÍGUEZ-GAMIR, J. Infrared Spectroscopy Coupled with Chemometrics in Coffee Post-Harvest Processes as Complement to the Sensory Analysis. **Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]**, v. 145, n. 111304, p. 111304, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111304>>.

BASTOS, T. R. S.; BARRETO-GARCIA, P. A. B.; MENDES, I. C.; MONROE, P. H. M.; CARVALHO, F. F. Response of Soil Microbial Biomass and Enzyme Activity in Coffee-Based Agroforestry Systems in a High-Altitude Tropical Climate Region of Brazil. **Catena**, v. 230, n. 107270, p. 107270, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2023.107270>>.

BELCHIOR V.; BOTELHO, B. G.; CASAL, S.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. FTIR and Chemometrics as Effective Tools in Predicting the Quality of Specialty Coffees. **Food Analytical Methods**, v. 13, n. 1, p. 275–283, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12161-019-01619-z>>.

BELCHIOR, V.; BOTELHO, B. G.; FRANCA, A. S. Comparison of Spectroscopy-Based Methods and Chemometrics to Confirm Classification of Specialty Coffees. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 11, n. 11, p. 1655, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/foods11111655>>.

BELCHIOR, V.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Spectroscopy (ATR-FTIR) and Chemometrics for Discrimination of Espresso Coffees with Different Sensory Characteristics. **Food Chemistry**, v. 273, p. 178–185, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.026>>.

BERTRAND, B., DAVIS, A.P., MARAVAL, I., FORESTIER, N.; MIEULET, D. Potential beverage quality of three wild coffee species (*Coffea brevipes*, *C. congensis* and *C.*

stenophylla) and consideration of their agronomic use. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, p. 3602-3612, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/jsfa.12347>>.

BERTRAND, B.; BOULANGER, R.; DUSSERT, S.; RIBEYRE, F.; BERTHIOT, L.; DESCROIX, F.; JOËT, T. Climatic Factors Directly Impact the Volatile Organic Compound Fingerprint in Green Arabica Coffee Bean as Well as Coffee Beverage Quality. **Food Chemistry**, v. 135, n. 4, p. 2575–2583, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.060>>.

BODNER, M.; MOROZOVA, K.; KRUATHONGSRI, P.; THAKEOW, P.; SCAMPICCHIO, M. Effect of Harvesting Altitude, Fermentation Time and Roasting Degree on the Aroma Released by Coffee Powder Monitored by Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry. **European Food Research and Technology**, v. 245, n. 7, p. 1499–1506, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-019-03281-5>>.

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. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/fsn3.1904>>.

BONA, E.; MARQUETTI, I.; LINK, J. V.; MAKIMORI, G. Y.; ARCA, V. C.; LEMES, A. L. G.; FERREIRA, J. M.; SCHOLZ, M. B. S.; VALDERRAMA, P.; POPPI, R. J. Support Vector Machines in Tandem with Infrared Spectroscopy for Geographical Classification of Green Arabica Coffee. **Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]**, v. 76, p. 330–336, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.048>>.

BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. A.; ALVES, A. P. C.; SANTOS, C. M.; LISKA, G. R.; RAMOS, M. F.; LIMA, R. R. Coffee sensory quality study based on spatial distribution in the Mantiqueira mountain region of Brazil. **Journal of Sensory Studies**, v. 35, e12552, 2019. DOI: 10.1111/joss.12552.

BORÉM, F. M.; ISQUIERDO, E. P.; ALVES, G. E.; RIBEIRO, D. E.; SIQUEIRA, V. C.; TAVEIRA, J. H. S. QUALITY OF NATURAL COFFEE DRIED UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND DRYING RATES. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, v. 13, n. 2, p. 159–167, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/cs.v13i2.1410>>.

BORSATO, D.; PINA, M. V.; SPACINO, K. R.; SCHOLZ, M. B.; ANDROCIOLO FILHO, A. Application of Artificial Neural Networks in the Geographical Identification of Coffee Samples. **European Food Research and Technology**, v. 233, n. 3, p. 533–543, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-011-1548-z>>.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA Nº 357, de 17/03/2005.

BRESSANI, A. P.; MARTINEZ, S. J.; BATISTA, N. N.; SIMÃO, J. B.; DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F. Co-Inoculation of Yeasts Starters: A Strategy to Improve Quality of Low Altitude Arabica Coffee. **Food Chemistry**, v. 361, n. 130133, p. 130133, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130133>>.

BUNN, C.; LÄDERACH, P.; RIVERA, O. O.; KIRSCHKE, D. A Bitter Cup: Climate Change Profile of Global Production of Arabica and Robusta Coffee. **Climatic Change**, v. 129, n. 1–2, p. 89–101, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>>.

CANO, W. Padrões Diferenciados das Principais Regiões Cafeeiras - 1850-1930. **Estudos Econômicos**. Instituto de Pesquisas Econômicas, v. 15, 1985.

CARDOSO, W. S.; DIAS, S. R.; COELHO, V. S.; PEREIRA, L. L.; FIORESI, D. B.; PINHEIRO, F. A. Maillard Reaction Precursors and Arabica Coffee (*Coffea Arabica* L.) Beverage Quality. **Food and Humanity**, v. 1, p. 1–7, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foohum.2023.01.002>>.

CASSAMO, C. T.; MANGUEZE, A. V.; LEITÃO, A. E.; PAIS, I. P.; MOREIRA, R.; CAMPA, C.; CHIULELE, R.; REIS, F. O.; MARQUES, I.; SCOTTI-CAMPOS, P.; LIDON, F. C.; PARTELLI, F. L.; RIBEIRO-BARROS, A. I.; RAMALHO, J. C. Shade and Altitude Implications on the Physical and Chemical Attributes of Green Coffee Beans from Gorongosa Mountain, Mozambique. **Agronomy (Basel, Switzerland)**, v. 12, n. 10, p. 2540, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12102540>>.

CASTILLEJOS-MIJANGOS, L. A.; ACOSTA-CAUDILLO, A.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T.; OSORIO-REVILLA, G.; JIMÉNEZ-MARTÍNEZ, C. Uses of FT-MIR Spectroscopy and Multivariate Analysis in Quality Control of Coffee, Cocoa, and Commercially Important Spices. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 11, n. 4, p. 579, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/foods11040579>>.

CNC – CONSELHO NACIONAL DO CAFÉ. Brasil: a nação do café. Disponível em: <https://cncafe.com.br/brasil-a-nacao-do-cafe/>. Acesso em: 06 Jul. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, Brasília, DF, v. 10, n. 2 segundo levantamento, maio. 2023.

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, n. 7, p. 1991–2007, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>>.

COSTA, W. G.; BARBOSA, I. P.; SOUZA, J. E.; CRUZ, C. D.; NASCIMENTO, M.; OLIVEIRA, A. C. Machine Learning and Statistics to Qualify Environments through Multi-Traits in *Coffea Arabica*. **PloS One**, v. 16, n. 1, p. e0245298, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0245298>>.

CRAIG, A. P.; BOTELHO, B. G.; OLIVEIRA, L. S.; FRANCA, A. S. Mid Infrared Spectroscopy and Chemometrics as Tools for the Classification of Roasted Coffees by Cup Quality. **Food Chemistry**, v. 245, p. 1052–1061, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.066>>.

CRAIG, A. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Discrimination between Immature and Mature Green Coffees by Attenuated Total Reflectance and Diffuse Reflectance Fourier Transform Infrared Spectroscopy. **Journal of Food Science**, v. 76, n. 8, p.

C1162–C1168, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02359.x>>.

CRAIG, A. P.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; IRUDAYARAJ, J.; ILELEJI, K. Fourier Transform Infrared Spectroscopy and near Infrared Spectroscopy for the Quantification of Defects in Roasted Coffees. **Talanta**, v. 134, p. 379–386, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.talanta.2014.11.038>>.

CRIOLLO-VELÁSQUEZ, C. P.; MUÑOZ-BELALCAZAR, J. A.; LAGOS-BURBANO, T. C. Environmental offering and coffee cup quality (*Coffea arabica* L.) Var. Castillo in southern Colombia. **Revista de ciencias agrícolas**, v. 37, n. 2, p. 78–89, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22267/rcia.203702.140>>.

CUSTÓDIO, A. A.; LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L.; POLLO, G. Z.; FIORENTIN, C. F.; ALVES, G. Qualidade do café sob manejos de irrigação, faces de exposição solar e posições na planta. **Irriga**, v. 20, n. 1, p. 177, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v20n1p177>>.

DAVIS, A. P.; GARGIULO, R.; ALMEIDA, I. N.; CARAVELA, M. I.; DENISON, C.; MOAT, J. Hot Coffee: The Identity, Climate Profiles, Agronomy, and Beverage Characteristics of *Coffea racemosa* and *C. zanguebariae*. **Frontiers in sustainable food systems**, v. 5, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fsufs.2021.740137>>.

DEBONA, D. G.; OLIVEIRA, E. C. S.; TEN CATEN, C. S.; GUARÇONI, R. C.; MOREIRA, T. R.; MORELI, A. P.; PEREIRA, L. L. Sensory analysis and mid-infrared spectroscopy for discriminating roasted specialty coffees. **Coffee Science**, v. 16, p. 1–9, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/v16i.1878>>.

DIAS, R. C.; VALDERRAMA, P.; MARÇO, P. H.; SCHOLZ, M. B. S.; EDELMANN, M.; YERETZIAN, C. Quantitative Assessment of Specific Defects in Roasted Ground Coffee via Infrared-Photoacoustic Spectroscopy. **Food Chemistry**, v. 255, p. 132–138, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.076>>.

DJUFRY, F.; WULANDARI, S. Climate-smart agriculture implementation facing climate variability and uncertainty in the coffee farming system. **IOP conference series. Earth and environmental science**, v. 653, n. 1, p. 012116, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/653/1/012116>>.

FERRAO, R. G.; FERRAO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; LANI, J. A.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; FERRÃO, L. M. V. CAFÉ CONILON: cultivares melhoradas sustentáveis. **Incaper em revista**, v. 4 e 5, p. 78-83, 2014.

FERREIRA, D. S.; OLIVEIRA, M. E. S.; RIBEIRO, W. R.; FILETE C. A.; CASTANHEIRA, D. T.; ROCHA, B. C. P.; MORELI, A. P.; OLIVEIRA, E. C. S.; GUARÇONI, R. C.; PARTELLI, F. L.; PEREIRA, L. L. Association of Altitude and Solar Radiation to Understand Coffee Quality. **Agronomy (Basel, Switzerland)**, v. 12, n. 8, p. 1885, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12081885>>.

FERREIRA, G. F. P.; NOVAES, Q. S.; MALTA, M. R.; SOUZA, S. E. Quality of coffee produced in the Southwest region of Bahia, Brazil subjected to different forms of

processing and drying. **African journal of agricultural research**, v. 8, n. 20, p. 2334–2339, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5897/ajar2013.7038>>.

FERREIRA, W. P. M.; QUEIROZ, D. M.; SILVAC, S. A.; TOMAZ, R. S.; CORRÊA, P. C. Effects of the orientation of the mountainside, altitude and varieties on the quality of the coffee beverage from the “Matas de Minas” region, Brazilian southeast. **American journal of plant sciences**, v. 07, n. 08, p. 1291–1303, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2016.78124>>.

FILETE, C. A.; MOREIRA, T. R.; SANTOS, A. R.; GOMES, W. S.; GUARÇONI, R. C.; MORELI, A. P.; AUGUSTO, M. I.; ABREU, R. O.; SIMMER, M. M. B.; CALIMAN, A. D. C.; GUIMARÃES, C. V.; BERILLI, S. S.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; PARTELLI, F. L.; BERILLI, A. P. C. G.; OLIVEIRA, E. C. S.; PEREIRA, L. L. The New Standpoints for the Terroir of Coffea Canephora from Southwestern Brazil: Edaphic and Sensorial Perspective. **Agronomy (Basel, Switzerland)**, v. 12, n. 8, p. 1931, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/agronomy12081931>>.

FIORESI, D. B.; PEREIRA, L. L.; OLIVEIRA, E. C. S.; MOREIRA, T. R.; RAMOS, A. C. Mid Infrared Spectroscopy for Comparative Analysis of Fermented Arabica and Robusta Coffee. **Food Control**, v. 121, n. 107625, p. 107625, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2020.107625>>.

FLORES-VALDEZ, M.; MEZA-MÁRQUEZ, O. G.; OSORIO-REVILLA, G.; GALLARDO-VELÁZQUEZ, T. Identification and Quantification of Adulterants in Coffee (Coffea Arabica L.) Using FT-MIR Spectroscopy Coupled with Chemometrics. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 9, n. 7, p. 851, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/foods9070851>>.

FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; MENDONÇA, J. C.; SILVA, X. A. Physical and Chemical Attributes of Defective Crude and Roasted Coffee Beans. **Food Chemistry**, v. 90, n. 1–2, p. 89–94, 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.03.028>>.

GETACHEW, M.; TOLASSA, K.; DE FRENNE, P.; VERHEYEN, K.; TACK, A. J.; HYLANDER, K.; AYALEW, B.; BOECKX, P. The Relationship between Elevation, Soil Temperatures, Soil Chemical Characteristics, and Green Coffee Bean Quality and Biochemistry in Southwest Ethiopia. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 42, n. 4, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13593-022-00801-8>>.

GIRAUDO, A.; GRASSI, S.; SAVORANI, F.; GAVOCI, G.; CASIRAGHI, E.; GEOBALDO, F. Determination of the Geographical Origin of Green Coffee Beans Using NIR Spectroscopy and Multivariate Data Analysis. **Food Control**, v. 99, p. 137–145, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.033>>.

GIRMA, B.; GURE, A.; WEDAJO, F. Influence of Altitude on Caffeine, 5-Caffeoylquinic Acid, and Nicotinic Acid Contents of Arabica Coffee Varieties. **Journal of Chemistry**, v. 2020, p. 1–7, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2020/3904761>>.

GOMES, W. S.; PEREIRA, L. L.; LUZ, J. M.; OLIVEIRA, E. C. S.; GUARÇONI, R. C.; MOREIRA, T. R.; FILETE, C. A.; MORELI, A. P.; PARTELLI, F. L. Preliminary Study of Variation in Quality of Fermented Coffea Canephora Genotypes Using Sensory

Assessment and Mid-Infrared Spectroscopy. **European Food Research and Technology**, v. 249, n. 11, p. 2935–2946, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-023-04339-1>>.

GUERRERO-PEÑA, A.; VÁZQUEZ-HERNÁNDEZ, L.; BUCIO-GALINDO, A.; MORALES-RAMOS, V. Chemical Analysis and NIR Spectroscopy in the Determination of the Origin, Variety and Roast Time of Mexican Coffee. **Heliyon**, v. 9, n. 8, p. e18675, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18675>>.

HAILE, M.; KANG, W. H. The harvest and post-harvest management practices' impact on coffee quality. **Coffee-Production and Research**, p. 1-18, 2019.

HAMEED, A.; HUSSAIN, S. A.; IJAZ, M. U.; ULLAH, S.; PASHA, I.; SULERIA, H. A. Farm to Consumer: Factors Affecting the Organoleptic Characteristics of Coffee. II: Postharvest Processing Factors. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 17, n. 5, p. 1184–1237, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12365>>.

HIL, C. L.; BORÉM, F. M. **Drying and Roasting of Cocoa and Coffee**. Londres, England: CRC Press, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1201/9781315113104>>.

JOËT, T.; LAFFARGUE, A.; DESCROIX, F.; DOULBEAU, S.; BERTRAND, B.; KOCHKO, A.; DUSSERT, S. Influence of Environmental Factors, Wet Processing and Their Interactions on the Biochemical Composition of Green Arabica Coffee Beans. **Food Chemistry**, v. 118, n. 3, p. 693–701, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.048>>.

KAMAL, B. K.; ACHARYA, B.; SRIVASTAVA, A.; PANDEY, M. Effect of different Altitudes in Qualitative and Quantitative Attributes of Green Coffee Beans (*Coffea arabica*) in Nepal. **International journal of Horticulture Agriculture and Food science**, v. 5, n. 3, p. 1–7, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.22161/ijhaf.5.3.1>>.

KITZBERGER, C. S. G.; POT, D.; MARRACCINI, P.; PEREIRA, L. F. P.; SCHOLZ, M. B. S. Flavor Precursors and Sensory Attributes of Coffee Submitted to Different Post-Harvest Processing. **AIMS Agriculture and Food**, v. 5, n. 4, p. 700–714, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3934/agrfood.2020.4.700>>.

KUSMIYATI, K.; FUDHOLI, A. Solar-Assisted Microwave Convective Dryer for Coffee Cherries. **International Journal of Renewable Energy Research**, v. 11, p. 407–415, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.20508/ijrer.v11i1.11686.g8152>>.

LARA-ESTRADA, L.; RASCHE, L.; SCHNEIDER, U. A. Land in Central America Will Become Less Suitable for Coffee Cultivation under Climate Change. **Regional Environmental Change**, v. 21, n. 3, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10113-021-01803-0>>.

LINK, J. V.; LEMES, A. L.; MARQUETTI, I.; SCHOLZ, M. B. S.; BONA, E. Geographical and Genotypic Classification of Arabica Coffee Using Fourier Transform Infrared Spectroscopy and Radial-Basis Function Networks. **Chemometrics and Intelligent**

Laboratory Systems: An International Journal Sponsored by the Chemometrics Society, v. 135, p. 150–156, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.chemolab.2014.04.008>>.

MACEDO, L. L.; ARAÚJO, C. S.; VIMERCATI, W. C.; HEIN, P. R. G.; PIMENTA, C. J.; SARAIVA, S. H. Evaluation of Chemical Properties of Intact Green Coffee Beans Using Near-infrared Spectroscopy. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 8, p. 3500–3507, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10981>>.

MARTINEZ, S. J.; SIMÃO, J. B.; PYLRO, V. S.; SCHWAN, R. F. The altitude of coffee cultivation causes shifts in the microbial community assembly and biochemical compounds in natural induced anaerobic fermentations. **Frontiers in microbiology**, v. 12, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2021.671395>>.

MARTINS, P. M. M.; BATISTA, N. N.; MIGUEL, M. G.; SIMÃO, J. B.; SOARES, J. R.; SCHWAN, R. F. Coffee Growing Altitude Influences the Microbiota, Chemical Compounds and the Quality of Fermented Coffees. **Food Research International (Ottawa, Ont.)**, v. 129, n. 108872, p. 108872, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108872>>.

MENDES, E.; DUARTE, N. Mid-Infrared Spectroscopy as a Valuable Tool to Tackle Food Analysis: A Literature Review on Coffee, Dairies, Honey, Olive Oil and Wine. **Foods (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 2, p. 477, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/foods10020477>>.

MUNYENDO, L. M.; NJOROGE, D. M.; OWAGA, E. E.; MUGENDI, B. COFFEE Phytochemicals and Post-Harvest Handling—A Complex and Delicate Balance. **Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 102, n. 103995, p. 103995, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103995>>.

MUNYENDO, L.; NJOROGE, D.; HITZMANN, B. The Potential of Spectroscopic Techniques in Coffee Analysis—A Review. **Processes (Basel, Switzerland)**, v. 10, n. 1, p. 71, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/pr10010071>>.

NADALETI, D. H.; ABRAHÃO, J. C. R.; ANDRADE, V. T.; MALTA, M. R.; BOTELHO, C. E.; CARVALHO, G. R. Quality Characterization and Selection from a Coffea Arabica Germplasm Collection in Brazil. **Euphytica Netherlands Journal of Plant Breeding**, v. 218, n. 4, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10681-022-02985-2>>.

OIC - ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO CAFÉ. **Relatório e Perspectivas do Café de abril de 2023**. Disponível em: <https://icocoffee.org/documents/cy2022-23/Coffee_Report_and_Outlook_April_2023_-_ICO.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2023.

OLIVEIRA, E. C. S.; LUZ, J. M.; CASTRO, M. G.; FILGUEIRAS, P. R.; GUARÇONI, R. C.; CASTRO, E. V.; SILVA, M. C.; PEREIRA, L. L. Chemical and Sensory Discrimination of Coffee: Impacts of the Planting Altitude and Fermentation. **European Food Research and Technology**, v. 248, n. 3, p. 659–669, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-021-03912-w>>.

PEREIRA, L. L.; CHERKASOVA, E.; GOLINITSKIY, P.; TOYGAMBAEV, S.; MUTOVKINA, E. Processing modes influence on the sensory profile of various types of coffee. **IOP conference series. Earth and environmental science**, v. 677, n. 5, p. 052036, 2021a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/677/5/052036>>.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C.; CARDOSO, W. S.; TAQUES, R. C.; MOREIRA, T. R.; SILVA, S. F.; TEN CATEN, C. S. Influence of Solar Radiation and Wet Processing on the Final Quality of Arabica Coffee. **Journal of Food Quality**, v. 2018, p. 1–9, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2018/6408571>>.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C.; MORELI, A. P.; PINHEIRO, P. F.; PINHEIRO, C. A.; MOREIRA, T. R., SIQUEIRA, E. A.; TEN CATEN, C. S. Physicochemical parameters of arabica fermented coffee in different altitudes. **Coffee Science**, v. 16, p. 1–9, 2021b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/v16i.1877>>.

PEREIRA, L. L.; GUARÇONI, R. C.; PINHEIRO, P. F.; OSÓRIO, V. M.; PINHEIRO, C. A.; MOREIRA, T. R., TEN CATEN, C. S. New Propositions about Coffee Wet Processing: Chemical and Sensory Perspectives. **Food Chemistry**, v. 310, n. 125943, p. 125943, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125943>>.

PEREIRA, P. V.; SILVEIRA, D. L.; SCHWAN, R. F.; ASSIS, S. S.; COELHO, J. M.; BERNARDES, P. C. Effect of Altitude and Terrain Aspect on the Chemical Composition of *Coffea Canephora* Cherries and Sensory Characteristics of the Beverage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 6, p. 2570–2575, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10885>>.

PÉREZ-MOLINA, J. P.; PICOLI, E. A. T.; OLIVEIRA, L. A.; SILVA, B. T.; SOUZA, G. A.; RUFINO, J. L. S.; PEREIRA, A. A.; RIBEIRO, M. F.; MALVICINI, G. L.; TURELLO, L.; DALESSANDRO, S. C.; SAKIYAMA, N. S.; FERREIRA, W. P. M. Treasured Exceptions: Association of Morphoanatomical Leaf Traits with Cup Quality of *Coffea arabica* L. Cv. “Catuaí”. **Food Research International (Ottawa, Ont.)**, v. 141, n. 110118, p. 110118, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110118>>.

PRATIWI, L. P. K.; BUDIASA, M.; YUDIARINI, N. The role of the geographic indication certification of Arabic coffee as an effort of local farmers. **International Journal of Research -GRANTHAALAYAH**, v. 9, n. 1, p. 330–338, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.29121/granthaalayah.v9.i1.2021.3102>>.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA; INCAPER; CEDAGRO, 305 p. 2007.

PRUVOT-WOEHL, S.; KRISHNAN, S.; SOLANO, W.; SCHILLING, T.; TONIUTTI, L.; BERTRAND, B.; MONTAGNON, C. Authentication of *Coffea arabica* Varieties through DNA Fingerprinting and Its Significance for the Coffee Sector. **Journal of AOAC International**, v. 103, n. 2, p. 325–334, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/jaoacint/qs2003>>.

QGIS.org, 2023. QGIS Geographic Information System. QGIS Association. <http://www.qgis.org>.

R CORE TEAM, 2021. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>

REINATO, C. H. R.; BORÉM, F. M.; CIRILLO, M. Â.; OLIVEIRA, E. C. Quality of the coffee dried on grounds with different surfaces and thickness layers. **Coffee Science - ISSN 1984-3909**, v. 7, n. 3, p. 223–237, 2012. Disponível em: <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/327>. Acesso em: 16 jul. 2023.

REIS, N.; BOTELHO, B. G.; FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S. Simultaneous Detection of Multiple Adulterants in Ground Roasted Coffee by ATR-FTIR Spectroscopy and Data Fusion. **Food Analytical Methods**, v. 10, n. 8, p. 2700–2709, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12161-017-0832-3>>.

ROCHA, R. S.; SIMÃO, J. B. P.; PELUZIO, J. B. E.; FERRARI, J. L.; GRAVINA, G. A. Influence of flowering and additional fertilization on physical and sensory aspects of arabica coffee. **Brazilian journal of agricultural sciences**, v. 14, n. 4, p. 1–7, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5039/agraria.v14i4a6015>>.

RODRIGUEZ, Y. F. B.; GUZMAN, N. G.; HERNANDEZ, J. G. Effect of the postharvest processing method on the biochemical composition and sensory analysis of arabica coffee. **Engenharia agrícola**, v. 40, n. 2, p. 177–183, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n2p177-183/2020>>.

ROLIM, G. S.; APARECIDO, L. E. O.; SOUZA, P. S.; LAMPARELLI, R. A.; SANTOS, É. R. Climate and Natural Quality of Coffea Arabica L. Drink. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 141, n. 1–2, p. 87–98, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00704-020-03117-3>>.

ROMANO, L. S.; GIOMO, G. S.; COELHO, A. P.; FILLA, V. A.; LEMOS, L. B. Characterization of Yellow Bourbon coffee strains for the production of differentiated specialty coffees. **Bragantia: boletim tecnico do Instituto Agronomico do Estado de Sao Paulo**, v. 81, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.20210236>>.

SANTOS, D. F., JÚNIOR, K. S. F.; SILVA, C. B.; NETO, J. M. S.; PAIVA, L. C.; BRIGANTE, G. P. Effect of Inf (cna - cnb) enzyme complex in the drying process and the coffee quality. **Coffee Science**, v. 15, p. 1–5, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.25186/v15i.1677>>.

SANTOS, D. G.; COELHO, C. C. S.; FERREIRA, A. B. R.; FREITAS-SILVA, O. Brazilian Coffee Production and the Future Microbiome and Mycotoxin Profile Considering the Climate Change Scenario. **Microorganisms**, v. 9, n. 4, p. 858, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/microorganisms9040858>>.

SANTOS, M. O.; SILVEIRA, H. R. O.; SOUZA, K. R.; LIMA, A. A.; BOAS, L. V.; BARBOSA, B. C.; BARRETO, H. G.; ALVES, J. D.; CHALFUN-JUNIOR, A. Antioxidant System Differential Regulation Is Involved in Coffee Ripening Time at Different

Altitudes. **Tropical Plant Biology**, v. 11, n. 3–4, p. 131–140, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s12042-018-9206-2>>.

SARZYNSKI, T.; BERTRAND, B.; RIGAL, C.; MARRACCINI, P.; VAAST, P.; GEORGET, F.; CAMPA, C.; ABDALLAH, C.; NGUYEN, C. T. Q.; NGUYEN, H. P.; NGUYEN, H. T. T.; NGOC, Q. L.; NGAN, G. K.; VIET, T. V.; NAVARINI, L.; LONZARICH, V.; BOSSOLASCO, L.; ETIENNE, H. Genetic-environment Interactions and Climatic Variables Effect on Bean Physical Characteristics and Chemical Composition of *Coffea arabica*. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 103, n. 9, p. 4692–4703, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.12544>>.

SCAA PROTOCOLS. Cupping Specialty Coffee. Specialty Coffee Association of America - SCAA. **Published by the Specialty Coffee Association of America**. Revised: December 16, 2015. Disponível em: <http://www.scaa.org/PDF/resources/cupping-protocols.pdf>. Acesso em: 07 Jul. 2023.

SCHOLZ, M. B.; PRUDENCIO, S. H.; KITZBERGER, C. S.; SILVA, R. S. Physico-Chemical Characteristics and Sensory Attributes of Coffee Beans Submitted to Two Post-Harvest Processes. **Journal of Food Measurement & Characterization**, v. 13, n. 1, p. 831–839, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11694-018-9995-x>>.

SCHOLZ, M. B.; KITZBERGER, C.S.; PAGIATTO, N. F.; PEREIRA, L. F.; DAVRIEUX, F.; POT, D.; CHARMETANT, P.; LEROY, T. Chemical Composition in Wild Ethiopian Arabica Coffee Accessions. **Euphytica; Netherlands Journal of Plant Breeding**, v. 209, n. 2, p. 429–438, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10681-016-1653-y>>.

SEAG - SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, ABASTECIMENTO, AQUICULTURA E PESCA. **Café arábica do Caparaó conquista selo de Indicação Geográfica**. Disponível em: <https://seag.es.gov.br/Notícia/cafe-arabica-do-caparao-conquista-selo-de-indicacao-geografica>. Acesso em: 07 Jul. 2023.

SILVA, T. V.; PÉREZ-RODRÍGUEZ, M.; OLIVEIRA, N. R.; SANTANA, H.; ALMEIDA, L. C. Tracing Commercial Coffee Quality by Infrared Spectroscopy in Tandem with Pattern Recognition Approaches. **Vibrational Spectroscopy**, v. 116, n. 103295, p. 103295, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.vibspec.2021.103295>>.

SIMMER, M. M. B.; SILVA, M. C. S.; PEREIRA, L. L.; MOREIRA, T. R.; GUARÇONI, R. C.; VELOSO, T. G.; SILVA, I. M.; ENTRINGER, T. L.; KASUYA, M. C.; LUZ, J. M.; MORELI, A. P.; OLIVEIRA, E. C. S. Edaphoclimatic Conditions and the Soil and Fruit Microbiota Influence on the Chemical and Sensory Quality of the Coffee Beverage. **European Food Research and Technology**, v. 248, n. 12, p. 2941–2953, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00217-022-04102-y>>.

SUHANDY, D.; KUSUMIYATI; YULIA, M. Discrimination between arabica and robusta coffees using NIR-integrating sphere spectroscopy coupled with hierarchical clustering analysis. **IOP conference series. Earth and environmental science**, v. 1038, n. 1, p. 012034, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/1038/1/012034>>.

TASSEW, A. A.; YADESSA, G. B.; BOTE, A. D.; OBSO, T. K. Influence of Location, Elevation Gradients, Processing Methods, and Soil Quality on the Physical and Cup Quality of Coffee in the Kafa Biosphere Reserve of SW Ethiopia. **Heliyon**, v. 7, n. 8, p. e07790, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07790>>.

TAVARES, B. C.; MACHADO, M. B. T.; VALDUGA, V. TERRITORIALIZAÇÃO DO CAFÉ NO CAPARAÓ CAPIXABA. **Mercator**, v. 22, 2023. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/e22006>>. Acesso em: 6 out. 2023.

VELÁSQUEZ, S.; BANCHÓN, C. Influence of Pre-and Post-Harvest Factors on the Organoleptic and Physicochemical Quality of Coffee: A Short Review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 10, p. 2526–2538, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s13197-022-05569-z>>.

VELOSO, T. G. R.; SILVA, M. C.; CARDOSO, W. S.; GUARÇONI, R. C.; KASUYA, M. C.; PEREIRA, L. L. Effects of Environmental Factors on Microbiota of Fruits and Soil of Coffea Arabica in Brazil. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-71309-y>>.

VOLSI, B.; TELLES T. S.; CALDARELLI C. E.; CAMARA M. R. G. The Dynamics of Coffee Production in Brazil. **PloS One**, v. 14, n. 7, p. e0219742, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0219742>>.

WÓJCICKI, K. Near-Infrared Spectroscopy as a Green Technology to Monitor Coffee Roasting. **Foods and Raw Materials**, p. 295–303, 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21603/2308-4057-2022-2-536>>.

WORKU, M.; ASTATKIE, T.; BOECKX, P. Quality and Biochemical Composition of Ethiopian Coffee Varied with Growing Region and Locality. **Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 115, n. 105015, p. 105015, 2023a. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105015>>.

WORKU, M.; ASTATKIE, T.; BOECKX, P. Shade and Postharvest Processing Effects on Arabica Coffee Quality and Biochemical Composition in Lowland and Midland Coffee-Growing Areas of Southwestern Ethiopia. **Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 115, n. 105027, p. 105027, 2023b. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2022.105027>>.

WORKU, M.; MEULENAER, B.; DUCHATEAU, L.; BOECKX, P. Effect of Altitude on Biochemical Composition and Quality of Green Arabica Coffee Beans Can Be Affected by Shade and Postharvest Processing Method. **Food Research International (Ottawa, Ont.)**, v. 105, p. 278–285, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.016>>.

YULIANTI, Y.; ADAWIYAH, D. R.; HERAWATI, D.; INDRASTI, D.; ANDARWULAN, N. Detection of Markers in Green Beans and Roasted Beans of Kalosi-Enrekang Arabica Coffee with Different Postharvest Processing Using LC-MS/MS. **International Journal of Food Science**, v. 2023, p. 1–12, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2023/6696808>>.

ZHANG, C.; WANG, C.; LIU, F.; HE, Y. Mid-Infrared Spectroscopy for Coffee Variety Identification: Comparison of Pattern Recognition Methods. **Journal of Spectroscopy (Hindawi)**, v. 2016, p. 1–7, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2016/7927286>>.

ZHANG, S. J.; DE BRUYN, F.; POTHAKOS, V.; CONTRERAS, G. F.; CAI, Z.; MOCCAND, C.; WECKX, S.; DE VUYST, L. Influence of various processing parameters on the microbial community dynamics, metabolomic profiles, and cup quality during wet coffee processing. **Frontiers in microbiology**, v. 10, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2019.02621>>.

ZHU, M.; LONG, Y.; CHEN, Y.; HUANG, Y.; TANG, L.; GAN, B.; YU, Q.; XIE, J. Fast Determination of Lipid and Protein Content in Green Coffee Beans from Different Origins Using NIR Spectroscopy and Chemometrics. **Journal of Food Composition and Analysis: An Official Publication of the United Nations University, International Network of Food Data Systems**, v. 102, n. 104055, p. 104055, 2021. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104055>>.