



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

ESPECIALIDADE DA QUALIDADE DO CAFÉ ARÁBICA DO MUNICÍPIO
DE BARRA DO CHOÇA-BA

CARLA SIMONE ARAÚJO GOMES SARMENTO

VITÓRIA DA CONQUISTA
BAHIA - BRASIL

2023

CARLA SIMONE ARAÚJO GOMES SARMENTO

**ESPACIALIDADE DA QUALIDADE DO CAFÉ ARÁBICA DO MUNICÍPIO
DE BARRA DO CHOÇA-BA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *Campus* de Vitória da Conquista, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador: Prof. DSc. Odair Lacerda Lemos

Coorientadora: Prof. DSc. Elisângela Fabiana
Boffo

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA - BRASIL

2023

S51e

Sarmento, Carla Simone Araújo Gomes.

Espacialidade da qualidade do café arábica do município de Barra do Choça - Ba. / Carla Simone Araújo Gomes Sarmento, 2023.

54f. : il.

Orientador (a): DSc. Odair Lacerda Lemos

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de concentração em Fitotecnia. Vitória da Conquista, 2023.

Inclui referência F. 51 - 52.

1. *Coffea arabica*. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Quimiometria. 4. Análise multivariada. I. Lemos, Odair Lacerda. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia. T.III.

CDD. 631.4

Catálogo na fonte: **Juliana Teixeira de Assunção – CRB 5/1890**

UESB – Campus Vitória da Conquista – BA

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista-BA.

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: Espacialidade da qualidade do café arábica do município de Barra do Choça

Autora: Carla Simone Araújo Gomes Sarmento

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:

Prof. Dr. Odair Lacerda Lemos (UESB)

Presidente

Profa. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto (UESB)

Prof. Dr. Rubens José Guimarães (UFLA)

Data de realização: 30 de maio de 2023.

AGRADECIMENTOS

Aos professores Dr. Odair Lacerda Lemos e Dra. Elisângela Fabiana Boffo, pela orientação e oportunidade de desenvolver este trabalho, possibilitando-me a ampliação dos meus conhecimentos e o desenvolvimento do meu espírito científico. Minha gratidão e respeito.

À Cooperativa COOPERBAC e aos cafeicultores do município de Barra do Choça, pelo interesse e apoio para a obtenção das amostras e informações que viabilizaram a execução deste trabalho.

Ao Laboratório de Química da Ufba, especialmente, às Professoras Dra. Elisângela Fabiana Boffo e Yasmin Alvarenga, pela paciência e tempo dispensado para analisar e discutir o resultado das inúmeras amostras, pelas quais tenho gratidão e estima.

À Profa. Dra. Sylvana Naomi Matsumoto e Prof. Dr. Rubens José Guimarães, que gentilmente aceitaram fazer parte da banca examinadora, aos quais tenho grande respeito, admiração e reconhecimento do trabalho que desempenham para a cafeicultura e agricultores.

Ao Programa de Pós-Graduação, pela oportunidade de realização desta defesa de dissertação; e aos funcionários que, além da eficiência com que tratam das questões burocráticas, permitem-nos sua amizade e apreço.

A minha família e amigos, por me ensinarem valores que a escola não ensina. E por me fazerem entender que aqueles que realmente torcem por você são aqueles que partilham de sua alegria.

Aos amigos, pela amizade, pelas longas discussões de cunho tecnológico, pela ajuda para superar as dificuldades e por compartilhar as alegrias.

A Deus, por todo dia iluminar meu caminho, por me abençoar e ampliar meus horizontes.

À UESB e UFBA, pela oportunidade e suporte financeiro que possibilitou a realização deste trabalho.

“Há uma força motriz mais poderosa que o vapor, a eletricidade e a energia atômica: a vontade”. (Albert Einstein)

RESUMO

SARMENTO, C. S. A. G. **Espacialidade da qualidade do café arábica do município de Barra do Choça**. Vitória da Conquista - BA, UESB, 2022. 52 p. (Dissertação: Mestrado em Agronomia; Área de Concentração: Fitotecnia) *.

Propôs-se a seguinte investigação com a finalidade de mapear a qualidade da produção do município de Barra do Choça e sua possível correlação com o ambiente de cultivo. Foram avaliadas amostras de cafés arábica, postuladas em um concurso de qualidade local, oriundas de áreas de cultivo localizadas em diversas faixas de altitude e regiões do município, com espaçamentos semelhantes e predomínio de cultivares do grupo Catuaí. As amostras de cafés beneficiadas foram torradas e submetidas à análise sensorial. Por meio de uma análise de correspondência múltipla, concluiu-se que os índices espectrais médios, do período de 01/09/2020 a 31/08/2022, de NDVI (índice de biomassa), EVI (índice de biomassa), (conteúdo de água na folha), PRI (eficiência de luz solar), PSRI (indicador de estresse), obtidos a partir de imagens do sensor MSI do satélite Sentinel-2, fatores ambientais elencados, não estão associados aos parâmetros de qualidade da bebida do café. Foi avaliada, ainda, a associação entre índices, em que o NDVI, usado para estimar vigor vegetativo da planta, está inversamente associado ao PSRI, que é o índice que mais explica a qualidade, dentre os parâmetros estudados. Das amostras avaliadas, 58% foram classificadas como cafés especiais na análise sensorial, de um total de 29 amostras, sendo 3 naturais e 26 despolpados. Foi realizada também a análise química por ressonância magnética nuclear de hidrogênio (RMN de ^1H), técnica muito utilizada em análises de alimentos para discriminação da origem e composição química. A homogeneidade da composição química das amostras foi constatada pela análise de componentes principais (PCA), não ocorrendo a formação de clusters quanto à latitude, longitude, método de beneficiamento (natural ou despolpa) e seleção de grãos. Esta constatação ratifica a hipótese de que o município de Barra do Choça representa um *terroir* único, sem fragmentações de ambiente, produzindo cafés semelhantes em toda a área.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, Sensoriamento Remoto, Quimiometria, Análise multivariada.

***Orientador:** Prof. Dr. Odair Lacerda Lemos, UESB.

***Coorientadora:** Prof. Dra. Elisângela Fabiana Boffo, UFBA.

ABSTRACT

The following investigation was proposed with the aim of mapping the quality of production in the municipality of Barra do Choça and its possible correlation with environmental. Samples of *Coffea arabica*, postulated in a local quality contest, from cultivation areas located in different altitude ranges and regions of the group Catuaí cultivar, were evaluated. The processed coffee samples were roasted and subjected to sensory analysis. Through a multiple correspondence analysis, it was concluded that the average spectral indices, from 09/01/2020 to 08/31/2022, of NDVI (biomass index), EVI (biomass index), (leaf water content), PRI (sunlight efficiency), PSRI (stress indicator), obtained from MSI sensor images from the Sentinel-2 satellite, listed environmental factors, are not associated with the quality parameters of the beverage coffee. The association between indices was also evaluated, where the NDVI, used to estimate the plant's vegetative vigor, is inversely associated with the PSRI, which is the index that can most explain the quality, among the studied parameters. Of the evaluated samples, 58% were classified as specialty coffees in the sensory analysis, a total of 29 samples, 3 natural and 26 pulped. Chemical analysis was also carried out by hydrogen nuclear magnetic resonance (NMR), a technique widely used in food analysis to discriminate origin and chemical composition. The principal component analysis (PCA) did not quantify the chemical substances, but observed divergence of chemical composition between samples, concluding that there was no formation of clusters, regarding latitude, longitude processing method (natural or pulping) and grain selection, confirming the subjectivity of the sensory analysis method and confirming the hypothesis that the environment in the municipality of Barra do Choça represents a unique *terroir*, without environmental fragmentation, producing similar coffees throughout the area.

Keywords: *Coffea arabica*, remote sensing, chemometrics, multivariate analysis, agrometeorology.

***Advisor:** Prof. Dr. Odair Lacerda Lemos, UESB.

***Co-advisor:** Prof. Dra. Elisângela Fabiana Boffo, UFBA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia.	19
Figura 3.2 – Mapa de localização do município de Barra do Choça-BA.	19
Figura 3.3 – Mapas temáticos do município de Barra do Choça-BA: vegetação, solos, clima, distribuição de umidade/ano e bioma.	21
Figura 3.4 – Frequência relativa de qualidade sensorial do café em percentil (%), classe 1-tradicional, classe 2-superior, classe 3-gourmet, classe 4-especial.	25
Figura 3.5 – Mapa hipsométrico do município de Barra do Choça com localização dos cafés analisados. Região 1- destaque azul, Região 2- destaque amarelo, Região 3- destaque laranja.	27
Figura 3.6 – Gráfico biplot a partir da análise de componentes principais (PCA). Os pontos correspondem às observações e os vetores representam as variáveis ativas (escores e médias dos índices espectrais NDVI, PSRI, PRI e EVI, no período de 01/09/2022 a 31/08/2022).	30
Figura 4.1 – Mapa de localização e hipsometria (altitude) do município de Barra do Choça, BA.	39
Figura 4.2 – Etapas de moagem e embalagem das amostras de café torrado.	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Ficha de referência para a avaliação da qualidade global da bebida do café, adaptado (ABIC, 2023; SCA, 2023). Os cafés inferiores foram desprezados neste estudo.22

Tabela 3.2 – Equações dos índices de vegetação. 24

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 – Recursos utilizados para processamento de imagens.....	23
--	----

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	13
2. REFERÊNCIAS	15
3. ARTIGO I – Índices espectrais e espacialidade da qualidade sensorial de cafés arábicas do município de Barra da Choça	17
RESUMO	17
ABSTRACT	17
3.1 INTRODUÇÃO	17
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	19
3.2.1 Caracterização da Área de Estudo	19
3.2.2 Amostras de café	21
3.2.3 Análise sensorial	22
3.2.4 Mapeamento temático e geração dos índices de vegetação	23
3.2.5 Análise estatística	24
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
3.4 CONCLUSÃO	32
3.5 REFERÊNCIAS	32
4. ARTIGO II – Impressão digital e variabilidade espacial da qualidade do café torrado do município de Barra do Choça, BA: análises espectroscópicas por ressonância magnética nuclear (RMN) aliada a quimiometria	37
RESUMO	37
ABSTRACT	37
4.1 INTRODUÇÃO	38
4.2 MATERIAL E MÉTODO	39
4.2.1 Área de estudo	39
4.2.2 Análise sensorial	40
4.2.3 Obtenção de amostras para espectroscopia	40
4.2.4 Espectroscopia de RMN ¹H	42

4.2.4 Quimiometria	43
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.4 CONCLUSÕES	51
4.5 REFERÊNCIAS	51
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	53

1. INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é originário do continente africano, das regiões altas da Etiópia, onde ocorre espontaneamente como planta de sub-bosque. Teve um rápido desenvolvimento, especialmente após sua introdução no Brasil, por volta de 1727. Na literatura, são citadas muitas espécies de café, pertencentes ao gênero *Coffea*, mas apenas a *Coffea arabica* e *Coffea canefora* possuem relevância econômica (FERRÃO et al, 2007), sendo a espécie *Coffea arabica* mais apreciada, devido às propriedades sensoriais (BERTRAND et al., 2003).

O café possui importante participação na economia mundial, relevante tanto em volume comercializado, como em valor monetário. O Brasil é o principal produtor e exportador do grão no mundo, participando com o equivalente a 30,79% do volume de exportações (OIC, 2021), o que legitima as pesquisas e investimentos no setor.

Ainda que considerado *commodity*, o grão vem ganhando *status* de produto especial. Cafés especiais podem receber um preço *premium*, de cerca de 20 a 50%, em relação ao café *commodity* (BART et al., 2014; TOLESSA et al., 2016). Erna Knutsen, cunhou o termo “café especial” em 1978, referindo-se a grãos com perfis de sabor exclusivos, produzidos em microclimas geográficos especiais.

Os efeitos ambientais sobre a qualidade do café são complexos e estão sendo cada vez mais discutidos (MARTINS, 2019). Nas últimas décadas, o conceito de *terroir*, originalmente da viticultura, tem se expandido em relação aos diversos produtos agroalimentares (KAPUR e ERSAHIN, 2014). Segundo Yi Peng et al. (2021), o efeito *terroir* promove qualidades distintas e sabor às bebidas e produtos alimentícios específicos do ambiente onde foram originalmente produzidos. Algumas áreas de produção cafeeira têm sido estudadas para reconhecimento de qualidades intrínsecas do ambiente e aperfeiçoamento da qualidade, frente à demanda do mercado por cafés com aromas e sabores marcantes e exóticos.

As principais regiões produtoras de café arábica do Brasil são distintas entre si, com particularidades regionais, o que gera uma diversidade de cafés, em aspectos qualitativos e sensoriais. De acordo com a Associação Brasileira de Cafés Especiais (BSCA), o Brasil possui 34 zonas de cinturão cafeeiro, com áreas de produção de cafés arábica, robusta e conilon, sendo oito em Minas Gerais, seis em São Paulo, três na Bahia e no Rio de Janeiro, duas no Espírito Santo, no Paraná e em Rondônia e uma no Ceará, Goiás, Pernambuco,

Distrito Federal, Acre, Mato Grosso e na divisa entre Espírito Santo e Minas Gerais (Caparaó) e São Paulo e Minas (Região vulcânica), (BSCA, 2023).

No mapa das origens dos cafés no Brasil, elaborado pela BSCA, a Bahia figura com três áreas de produção, sendo uma área de produção de café canephora, o Atlântico Baiano; e duas áreas de produção de café arábica, o Planalto Baiano (compreende a Chapada Diamantina, Planalto de Vitória da Conquista e Serrana de Itiruçu/Brejões); e Oeste da Bahia, com indicação de procedência (IP). Dentre as cidades do Planalto Baiano, estão cidades premiadas em concursos nacionais, como Piatã, Mucugê, Ibicoara, Vitória da Conquista, Barra do Choça e Poções.

O presente estudo versa sobre a qualidade do café produzido no município de Barra do Choça e influência dos índices de reflectância (NDVI, EVI, PSRI e PRI), indicadores vegetativos e ambientais da planta, sobre a qualidade sensorial da bebida. Foi proposto, ainda, o uso da espectroscopia de Ressonância Magnética Nuclear (RMN de ^1H), aliada à quimiometria, como instrumentos decodificadores dos perfis químicos dos cafés, utilizando o método estatístico de Análise de Componentes Principais (PCA) para explorar um conjunto de espectros de cafés e constatar similaridades e diferenças entre amostras, a partir de suas características químicas, com objetivo de identificar a impressão digital do café produzido no município e fatores determinantes da qualidade.

2. REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Cafés especiais – BSCA (2023). Consultado em 20/01/2023. Disponível em: <https://www.bsca.com.br>.

Bart, M.; Tamru, S.; Kuma, T.; Nyarko, Y. Structure and Performance of Ethiopia's Coffee Export Sector. International Agricultural Trade Research Consortium's (IATRC's) Annual Meeting: **Food, Resources and Conflic**. San Diego, CA. 2014.

Bertrand, B.; Guyot, B.; Anthony, F.; Lashermes, P. Impact of the *Coffea canephora* gene introgression on beverage quality of *C. arabica*. **Theoretical and Applied Genetics**, v.107, p.387-394, 2003. DOI: 10.1007/s00122-003-1203-6. Ferrão, M. A. G.; Ferrão, R. G.; Fonseca, A. F. A.; Verdim Filho, A. C.; Volpi, P. S. Origem, Dispersão Geográfica, Taxonomia e Diversidade Genética de *Coffea canéfora*. Livro Café Conilon - cap 3 - pag 64 a 91. p65.2007.

Kapur, S.; Erşahin, S. Soil Security for Ecosystems Management. **Springer International Publishing**, Berlin, 2014.

Martins, P. M. M. Influência da altitude na microbiota e na qualidade sensorial e química de cafés fermentados (*Coffea arabica* L.) da Serra do Caparaó, região do Espírito Santo. Orientador(a): Rosane Freitas Schwan. Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Organização Internacional do Café-OIC (2021). Relatório sobre o mercado café. Set/2021. Consultado em 26/10/2021. Disponível em: <https://www.ico.org/pt/Market-Report-20-21-p.asp>.

Peng, Y. ; Roell, Y. E. ; Odgers, N. P. ; Møller, A. B. ; Beucher, A. ; Greve, M. B. ; Greve, M. H. Mapping and describing natural terroir units in Denmark. **Geoderma**, v. 394, p. 115014. 2021.

Rhinehart, R. (2009). What is specialt coffee. Disponível em: <http://www.scanews.coffee/2017/03/17/what-is-specialty-coffee/>.

Tolessa, K.; Rademaker, M.; De Baets, B.; Boeckx, P. Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. **Talanta**.150:367–374. 2016.

Periódico Científico: Agronomy Journal – A2

ARTIGO I

Índices espectrais e espacialidade da qualidade sensorial de cafés arábicas do município de Barra do Choça

* **Situação:** Não submetido

3. ARTIGO I – Índices espectrais e espacialidade da qualidade sensorial de cafés arábicas do município de Barra da Choça

RESUMO

Propôs-se a seguinte investigação para caracterizar a produção de fazendas de café do município de Barra do Choça pela qualidade da bebida e sua possível correlação com o ambiente de cultivo. Para tanto, foram avaliadas 50 amostras de cafés, 16 naturais e 34 despulpados, participantes de um concurso de qualidade local, oriundas de áreas de cultivo localizadas em diversas faixas de altitude e regiões do município, com espaçamentos semelhantes e predomínio das cultivares do grupo Catuaí. As amostras de cafés foram torradas e submetidas à análise sensorial. Por meio de uma análise de correspondência múltipla, concluiu-se que os índices espectrais médios, do período de 01/09/2020 a 31/08/2022, de NDVI (índice de biomassa), EVI (índice de biomassa), PRI (eficiência de luz solar) obtidos a partir de imagens do sensor MSI do satélite Sentinel-2, fatores ambientais elencados, não estão associadas aos parâmetros de qualidade da bebida do café. Foi avaliada, ainda, a associação entre índices, em que o NDVI, usado para estimar vigor vegetativo da planta, está inversamente associado ao PSRI (indicador de estresse), que é o índice que mais explica a qualidade, dentre os parâmetros estudados. Das amostras avaliadas, 58% foram classificadas como cafés especiais na análise sensorial, de um total de 29 amostras, sendo 3 naturais e 26 despulpados.

Palavras-chave: *Coffea arabica*, sensoriamento remoto, variabilidade espacial.

ABSTRACT

The following investigation was proposed to characterize the production of coffee farms in the municipality of Barra do Choça by the quality of the beverage and its possible correlation with environmental. Fifty samples of coffee were evaluated, 16 in natura and 34 pulped, participating in a local quality competition, originating from cultivation areas located in different altitude ranges and regions of the municipality, with similar spacing and predominance of the catuaí group cultivar. The coffee samples were roasted and subjected to sensory analysis. Through a multiple correspondence analysis, it was concluded that the average spectral indices, from 09/01/2020 to 08/31/2022, of NDVI (biomass index), EVI (biomass index) and PRI (sunlight efficiency) obtained from MSI sensor images from the Sentinel-2 satellite listed environmental factors, are not associated with the quality parameters of the beverage coffee. The association between indices was also evaluated, where the NDVI, used to estimate the plant's vegetative vigor, is inversely associated with the and PSRI (indicador de estresse), which are the indices that can most explain the quality, among the studied parameters. Of the evaluated samples, 58% were classified as specialty coffees in the sensory analysis, a total of 29 samples, 3 in natura and 26 pulped.

Keywords: *Coffea arabica*, remote sensing, spatial variability.

3.1 INTRODUÇÃO

O termo café especial tem a conotação de segmento em que se privilegia a qualidade e a experiência, sendo este consumo diferenciado. Segundo Elliot (2006), os apreciadores de café usam a geografia para ilustrar tanto o seu conhecimento, quanto as suas preferências de gosto e, ao pedir Sumatra, Kona, New Guinea Peaberry, Brasil Ipanema Bourbon e similares, o apreciador “pede um lugar em uma xícara”.

A diferenciação de cafés com base na noção de *terroir* permite determinar áreas potenciais para a produção de cafés especiais e caracterizar a identidade do café dessas áreas, explorando suas potencialidades (SILVA, 2014). A definição do *terroir* deve começar com a identificação das diferenças na qualidade do produto e, a partir desse ponto inicial, outras características são minuciosamente avaliadas, como microclima, solo e geografia, que influenciam na qualidade da bebida do café (NARANJO et al., 2011; SILVA; 2014).

O aprimoramento da tecnologia de imagem de satélite e processamento de dados aumentou substancialmente a capacidade de mapear, quantificar e qualificar mudanças na cobertura de vegetações em escalas globais, valorizando as informações a partir de imagens (ROSA et al, 2021). Dentre as informações de relevância com aplicação na agricultura, estão os índices espectrais de vegetação (IVs), definidos como formulações matemáticas desenvolvidas a partir de dados espectrais obtidos por sensores remotos, principalmente das bandas do vermelho e do infravermelho próximo, permitindo avaliações e estimativas da cobertura vegetal de uma área. Essas transformações matemáticas podem ser interpretadas como medidas semianalíticas da atividade da vegetação com o objetivo de detectar variabilidades especializadas.

Atualmente a Plataforma *Google Earth Engine* (GEE), baseada em nuvem, constitui importante ferramenta para análises geoespaciais em escala planetária, pois permite colocar os recursos computacionais do *Google* em uma variedade de questões de alto impacto, incluindo desmatamento, seca, desastre, doença, segurança alimentar, gerenciamento de água, monitoramento climático e proteção ambiental (GORELICK et al., 2017).

Dada a relevância da cafeicultura do Sudoeste da Bahia, com destaque para o município de Barra do Choça, o presente trabalho se fortalece com a crescente produção de cafés especiais. No entanto, é preciso consolidar a região como importante produtora de cafés de qualidade, através do estudo do *terroir*, em que as características intrínsecas da bebida são moldadas pela interação genótipo e ambiente.

Existem poucos estudos que relacionam índices espectrais com a qualidade da bebida. Desse modo, o presente estudo possui enfoque na qualidade do café, caracterização sensorial e correlação com índices espectrais, capazes de analisar a planta por meio de imagens de satélite.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho é apresentada de forma esquemática no fluxograma da Figura 3.1.

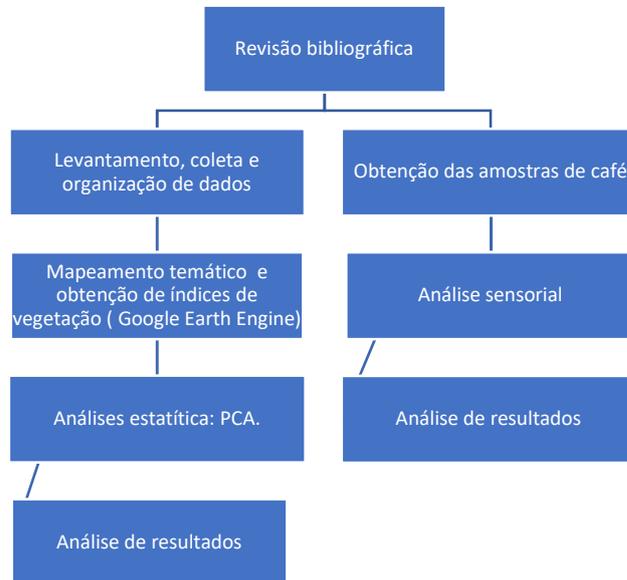


Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia.

3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O estudo abrange os limites do município de Barra do Choça (Figura 3.2), localizado no território de identidade Sudoeste Baiano, nas coordenadas 40° 24' a 40° 44' Sul e 14° 4' a 15° 46' Oeste.

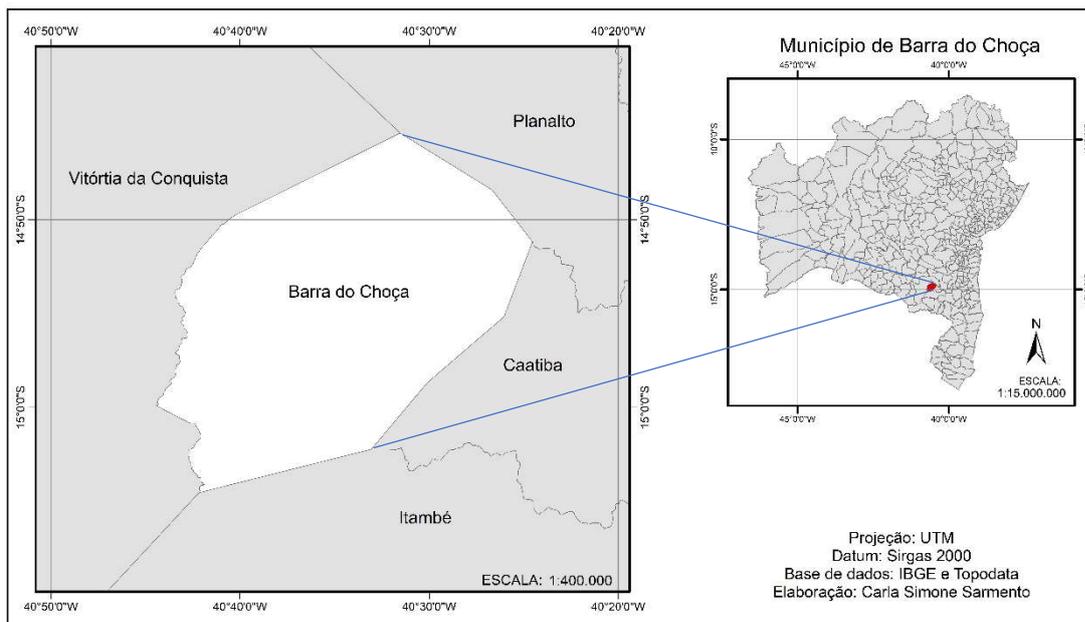


Figura 3.2 – Mapa de localização do município de Barra do Choça-BA.

O município de Barra do Choça destaca-se com a maior produção do cinturão cafeeiro do Planalto Baiano, sendo o quarto em produção e o primeiro em área plantada do Estado da Bahia (IBGE, 2017). A cultura do café, espécie *Coffea arabica L.*, predomina em termos de uso do solo do município e relevância socioeconômica, com destaque para as variedades do grupo Catuaí.

Na Figura 3.3, são apresentadas as características climáticas da região de estudo, município de Barra do Choça, Bahia, de acordo com informações do *shapefile* disponibilizado pelo IBGE. A região possui clima tropical Brasil central quente, de acordo com *Köppen-Geiger*, com temperaturas médias iguais ou acima de 18° ao longo de todo ano, verões chuvosos, enquanto no inverno ocorre estiagem, com quatro a cinco meses secos. Relevo plano a suave ondulado, com altitudes variáveis de 384 a 1.056m acima do nível do mar. O bioma da região é Mata Atlântica, com distribuição de 4 tipos de vegetação (Figura 3.3): floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual, floresta estacional decidual e pequena região com formação pioneira. Observa-se que à medida que se aproxima da região de transição com o bioma Caatinga, tem-se novos extratos de vegetação com comportamento fenológico caducifólia. O tipo de solo predominante na região é o latossolo amarelo distrófico (IBGE, 2023).

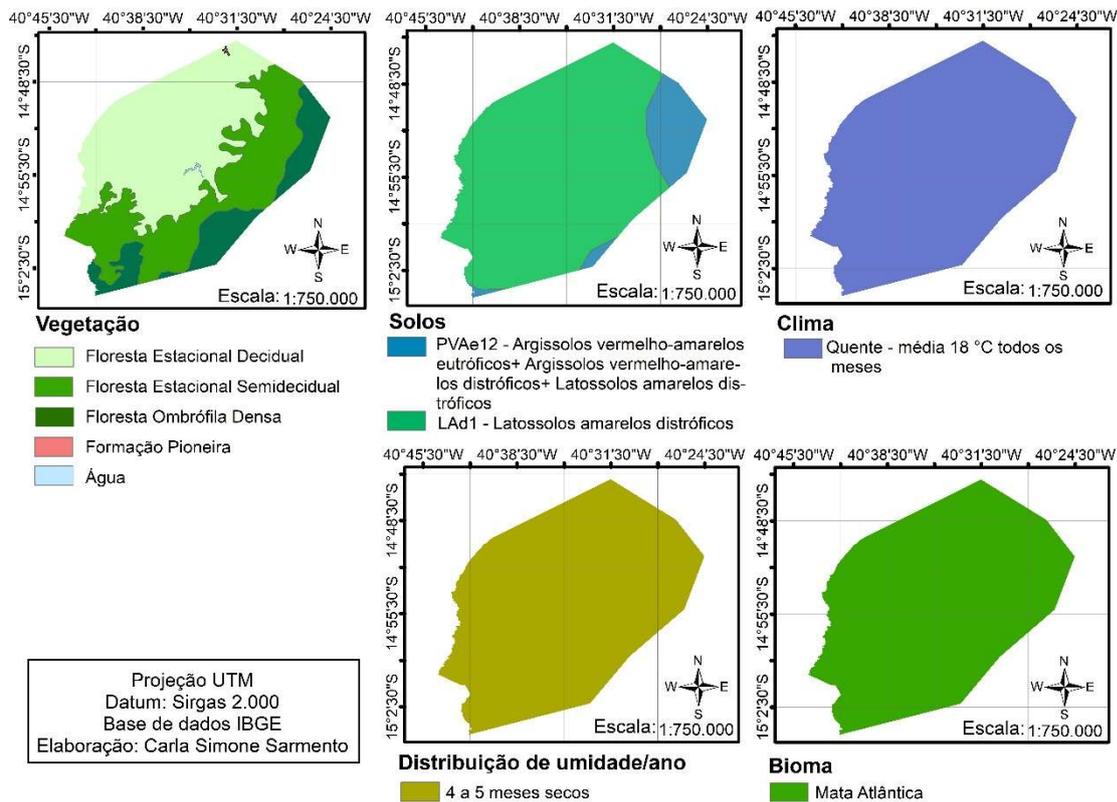


Figura 3.3 – Mapas temáticos do município de Barra do Choça-BA: vegetação, solos, clima, distribuição de umidade/ano e bioma.

Apesar de inserido no bioma Mata Atlântica, o município de Barra do Choça insere-se numa região semiárida, com chuvas irregulares e baixos índices pluviométricos. Segundo Matiello & Brito (2017), o índice pluviométrico médio do município, registrado nos anos de 1988-2016, foi de 1080mm/ano, com chuvas distribuídas em todos os meses do ano e maior concentração nos meses de novembro a março. Foi possível registrar, ainda, alta variabilidade de um ano para o outro, possuindo registro mínimo de 369mm/ano e máximo de 1637mm/ano, constituindo uma região de chuvas irregulares, sujeita a intempéries climáticas.

3.2.2 Amostras de café

Foram utilizados 50 lotes de grãos de café (*Coffea arabica L.*), sendo 16 naturais e 34 despulpados, de propriedades localizadas no município de Barra do Choça, Bahia. As amostras foram depositadas no I concurso de qualidade de café, realizado na abrangência deste município, pela da Cooperativa Mista dos Cafeicultores de Barra do Choça e região (COOPERBAC) no dia 02 de setembro de 2022.

O concurso contemplou duas categorias, natural e despulpado, que se diferenciam pelo processo pós-colheita. Sendo assim, parte dos grãos foi processado naturalmente (sem

retirada da polpa das sementes antes da secagem); outra parte foi despulpada, via úmida (técnica difundida na região), demucilagem mecânica (remoção mecânica da polpa e mucilagem antes da secagem), e alguns lotes submetidos à fermentação (processo via úmida). Todas as amostras foram submetidas ao processo de secagem.

3.2.3 Análise sensorial

O painel sensorial foi composto por cinco provadores Q-grader, obedeceu ao protocolo de análise sensorial da *Specialty Coffee Association* (SCA), por meio do qual se atribui notas de 0 a 10 para os atributos: fragrância/aroma, uniformidade, presença de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, retrogosto, equilíbrio e experiência geral, sendo que este último aspecto constitui a impressão geral (avaliação pessoal do provador), que totaliza uma nota geral de 0 (zero) a 100 (cem) pontos.

Em cada avaliação, foram realizadas provas de três amostras codificadas (teste cego) de café, representando cada lote. A avaliação dos atributos das amostras procedeu conforme padrão de “prova de xícara” (aspirar/degustar/descartar) e o seu conceito de qualidade global foi registrado na Ficha de Avaliação, modelo da SCA.

De acordo com as notas gerais obtidas, os cafés foram classificados quanto ao padrão de qualidade, tendo como referência as classificações utilizadas pela ABIC e SCA. Para este estudo, foram selecionadas amostras com pontuação acima de 45 pontos, classificadas conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Ficha de referência para a avaliação da qualidade global da bebida do café, adaptado (ABIC, 2023; SCA, 2023). Os cafés inferiores foram desprezados neste estudo

Notas análise sensorial SCA	Classificação SCA	Classificação ABIC	Classificação utilizada
<45	Abaixo do padrão	Cafés inferiores	-
45-59	Abaixo do padrão	Tradicional	1
60-72	Abaixo do padrão	Superior	2
72-79	Abaixo do padrão	Gourmet	3
≤80	Especial	Gourmet	4

Foram analisados os resultados da análise sensorial de 50 amostras de cafés arábica, escolhidas ao acaso, 16 amostras naturais e 34 amostras de café despulpados, da 1ª fase do concurso.

Para a melhor visualização dos resultados obtidos na análise sensorial, os escores finais foram subdivididos em classes para verificação da frequência (Figura 3.4) e espacialidade da qualidade (Figura 3.5). No resultado da 1ª fase da análise sensorial (Figura

3.4), 50 amostras de cafés com notas superiores a 45 pontos, subdivididas em 4 classes, classe 1- tradicional (45-59,99 pontos), classe 2- superior (60-71,99 pontos), classe 3- gourmet (72-79-99 pontos), classe 4- especiais (80-100 pontos).

3.2.4 Mapeamento temático e geração dos índices de vegetação

Foram gerados mapas temáticos de clima, bioma, distribuição da umidade, solos, vegetação e hipsométrico da área total do município de Barra do Choça.

Os índices de vegetação analisados foram obtidos em toda a área do município, no entanto, os valores foram extraídos de pontos das propriedades em estudo.

No desenvolvimento deste estudo foram utilizados os seguintes recursos:

Quadro 3.1 – Recursos utilizados para processamento de imagens

Recursos	Descrição
Imagens de satélite	MSI - Sentinel 2 (<i>multispectral instrument</i>) Fonte: <i>European Space Agency</i> (ESA)
SOFTWARES de geoprocessamento de imagem	<i>Google Earth Engine</i> <i>Arc Gis</i> (ESRI) <i>Quantum Gis</i>
SHAPEFILES	Malha Municipal 2019 do SEI Bahia Vegetação IBGE Clima IBGE TOPODATA – Banco de dados Geomorfométricos do Brasil – DSR/ INPE
Produtos	NDVI - <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (índice de biomassa) EVI – <i>Enhanced Vegetation Index</i> (índice de biomassa) PRI – <i>Photochemical Reflectance Index</i> (eficiência da luz solar) PSRI – <i>Plant Senescence Reflectance Index</i> (indicador de stress)
Série temporal	01/09/2020 a 30/08/2022

O arquivo *shapefile* do município de Barra do Choça foi extraído da base cartográfica disponível no site do IBGE, a partir deste, foram gerados mapas temáticos de clima, vegetação, bioma e distribuição da umidade/ano. O mapa temático topográfico foi elaborado

a partir de aquisição da imagem do Projeto TOPODATA (INPE), em formato *Geotiff*, disponível no site do INPE.

Para a obtenção dos índices espectrais, utilizou-se a plataforma *Google Earth Engine*, cenas do sensor MSI (*Multispectral Instrument*), a bordo do satélite Sentinel-2, composto por treze bandas espectrais, destas, quatro com resolução espacial de 10 m, seis bandas de 20 m e três bandas com 60 m (Gomes, 2017), para realizar a análise dos índices espectrais. As equações dos índices inseridas nos scripts foram:

Tabela 2 – Equações dos índices de vegetação

Índice de vegetação	Equação
NDVI	$(b('B5') - b('B4')) / (b('B5') + b('B4'))$
EVI	$(2.5 * (b('B5') - b('B4')) / (b('B5') + 6 * b('B4') - 7.5 * b('B2')) + 1)$
PRI	$(b('B2') - b('B3')) / (b('B2') + b('B3'))$
PSRI	$(b('B4') - b('B3')) / b('B6')$

O método geral consistiu no uso de processamento digital de imagens para extrair índices espectrais, visando obter características espectrais associadas ao clima e à cobertura vegetal, da série temporal 01/09/2020 a 30/08/2022; e sua correlação com a qualidade do café produzido no município de Barra do Choça. A série temporal escolhida possui analogia com o período fenológico do café, proposto por Camargo & Camargo (2001).

3.2.5 Análise estatística

A análise de componentes principais (PCA) foi realizada pelo *software* XLSTAT. Em uma planilha eletrônica, os dados foram agrupados por: propriedade; categoria: pós-colheita; dados geográficos: latitude, longitude; índices espectrais médios: NDVI, EVI, PRI, PSRI; e qualidade sensorial.

Para o estudo de correlação dos índices espectrais (NDVI, EVI, PRI e PSRI) com a qualidade sensorial e dependência espacial, foram realizadas análises de componentes principais em conjunto com a técnica de biplot.

A partir dos resultados da análise sensorial das amostras de café, com o objetivo de avaliar os fatores ambientais estudados (índices espectrais: NDVI, EVI, PSRI e PRI) e as suas interações com as notas de escore final, foi realizada análise estatística exploratória

através do método de análise dos componentes principais (PCA). O gráfico biplot (Figura 3.6) foi construído para analisar a relação entre as amostras e fatores ambientais sobre o escore, que representa a qualidade geral do café.

Optou-se por considerar os escores das análises e localização das amostras que obtiveram escore final (média das notas dos cinco provadores) acima de 45 pontos (70 amostras), sendo de maior relevância os escores da classe 4, com notas acima de 80 pontos, por serem estes denominados cafés especiais pela SCA. Para as análises estatísticas, foi considerado o escore médio dos cinco provadores para cada amostra.

A tipologia foi realizada por meio da análise de agrupamentos (*clustering*), aplicando-se estatística multivariada (Figura 3.6). A necessidade de se adotar tal procedimento emerge da quantidade de variáveis ambientais de observação com o objetivo de encontrar associações da qualidade com ambiente e tipo de tratamento pós-colheita.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Das amostras analisadas na 1ª fase de análise sensorial, 29 obtiveram pontuação acima de 80 pontos, consideradas especiais, sendo que 26 são cafés da categoria despulpado, e 3 da categoria natural.

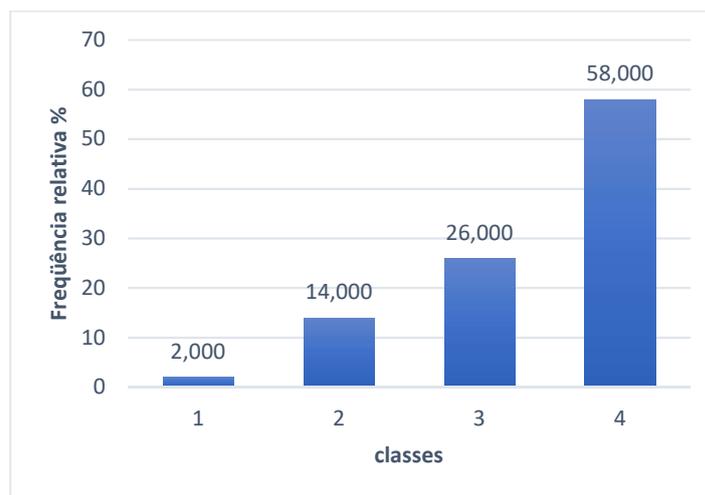


Figura 3.4 – Frequência relativa de qualidade sensorial do café em percentil (%), classe 1-tradicional, classe 2-superior, classe 3-gourmet, classe 4-especial.

Os cafés despulpados apresentaram-se superiores, não demonstrando interdependência com a altitude ou ambiente. Já os cafés naturais ocorreram em áreas de

maior altitude, sugerindo dependência espacial, pois a qualidade sensorial se repete em extratos de altitude superiores, no entanto, não foi realizada a análise estatística por extratos de altitude no presente trabalho.

Diversos estudos associam a qualidade sensorial do café à altitude e à maturação dos frutos. De maneira geral, observa-se que regiões com temperaturas mais amenas e altitudes mais elevadas apresentaram maior duração do ciclo (período entre floração e maturação plena) (BARDIN-CAMPAROTTO, 2012). A relação da altitude com a temperatura é especialmente importante para as regiões tropicais e subtropicais, onde uma diferença de algumas centenas de metros provoca mudanças sensíveis no ambiente, na adaptação da biota e consequente sucesso na introdução de espécies para cultivo agrícola (FRITZSONS, 2016).

Foi possível verificar, ainda, que a dispersão espacial da qualidade sensorial dos cafés no município não formou *clusters*, conforme é possível visualizar na Figura 3.5 e 3.6, ou seja, as amostras não se diferenciam ou se agrupam em ambientes específicos e/ou em cotas de altitude. Observa-se que houve ocorrência de cafés especiais em todas as cotas de altitude acima de 800m, em áreas mais úmidas e mais secas. Logo, não foi possível definir modelos de associações a partir das variáveis ambientais avaliadas.

De acordo com a Figura 3.5, é possível verificar que os cafés especiais estão dispersos em cotas variáveis de altitude, ocorrendo em 3 regiões distintas: Região 1 (sul): Pau-Brasil, Serraria, Arco Verde, Alegria, Morrinhos, Morro de São Paulo; Região 2 (leste): Sossego, Lagoa Verde; e Região 3 (nordeste): Ingazeira, Espírito Santo, Larga Nova, Muritiba, Santo Antônio II e Boa Vista.

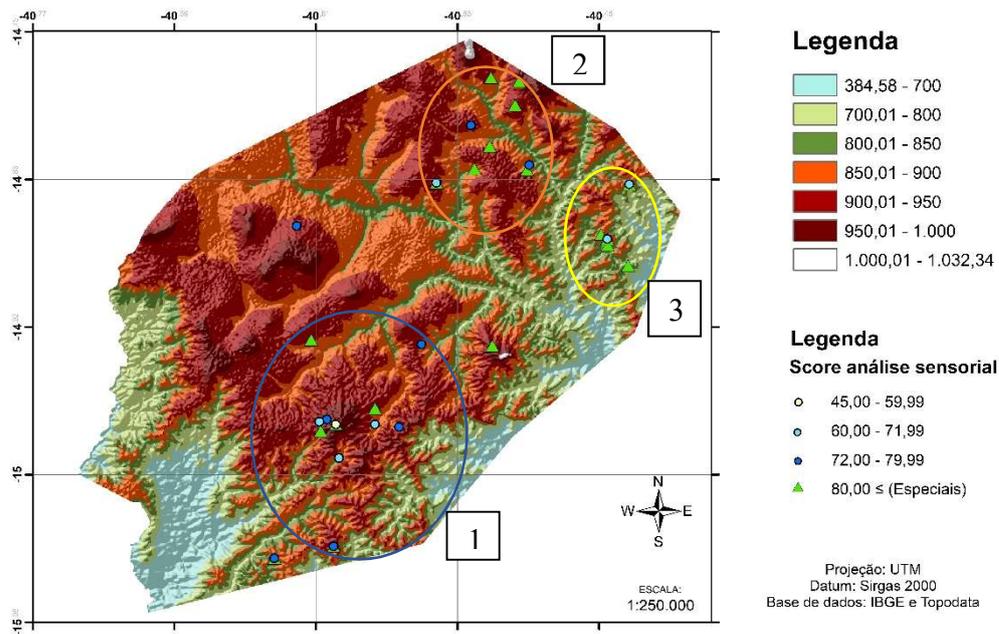


Figura 3.5 – Mapa hipsométrico do município de Barra do Choça com localização dos cafés analisados. Região 1- destaque azul, Região 2- destaque amarelo, Região 3- destaque laranja.

As regiões 1 (sul) e 2 (nordeste), com destaque para as regiões de Serraria, Boa Vista e Pau-Brasil, em quantidade de cafés postulados com boa qualidade, constituem áreas com vegetação menos densa (Figura 3.3), decorrente de menor incidência pluviométrica, com vegetação típica de floresta estacional decidual e semidecidual, com áreas de cultivo em cotas de altitude de 900,01-1032,34m. Foi possível observar também a ocorrência de cafés naturais especiais nas localidades de Pau-Brasil, Muritiba e Boa Vista, regiões mais altas do município.

A altitude tem uma forte influência nas mudanças de temperatura do ar (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2006). Temperaturas mais baixas retardam o amadurecimento dos frutos, fazendo com que ocorram mais alterações químicas nos grãos e maior acúmulo de açúcares, alguns ácidos e aminoácidos, o que melhora as características favoráveis a uma boa bebida (MATIELLO *et al.*, 2005; VAAST *et al.*, 2006).

Diferentemente, a região 3, localizada na porção leste do município de Barra do Choça, em cotas de altitude mais baixas, 700-900m (Figura 3.5), constitui a área mais úmida, chuvosa e com vegetação ombrófila densa (Figura 3.3). Devido às condições ambientais, os cafés oriundos dessa região foram, em sua totalidade, despulpados por via úmida e obtiveram elevadas notas sensoriais. Por esse motivo, não foi possível comparar os tratamentos pós-colheita, e ratificar a origem da qualidade sensorial, se do ambiente ou do processo pós-colheita de despulpa e/ou fermentação.

As fermentações que ocorrem nos frutos podem modificar os atributos sensoriais, em intensidade e frequência, atribuindo notas especiais de aroma, fragrância e acidez, bem como prejudicar a qualidade, quando não bem controlada (SILESTRE et al., 2019). Dentre as amostras, 10 foram submetidas à fermentação controlada, destas, 40% atingiram escore acima de 80 pontos, 40% escore 80<72 pontos e 20% escore <72 pontos, afirmando a eficiência da técnica.

Uma das justificativas para o emprego do processamento por via úmida na obtenção de cafés cereja descascado tem por fundamento a redução da área ocupada nas plataformas de cimento (terreiro). Isso otimiza o uso de secadores mecânicos devido à retirada da casca e à diminuição dos custos no processo de secagem (BORÉM et al., 2006).

A escolha do processo de secagem a ser empregado constitui importante tomada de decisão, uma vez que atrasos no processo de secagem promovem fermentação indesejada, e excessos de temperatura também depreciam a qualidade da bebida. Estudos realizados por Borém et al. (2008) identificaram que a secagem com temperaturas acima de 60 °C afetaram negativamente a qualidade do café. Foi observado, ainda, que os açúcares redutores, os açúcares totais e a análise sensorial diminuem com o aumento da temperatura de secagem, independentemente do tipo de processamento. Dentre os cafés analisados, seis propriedades realizaram um processo de secagem mista com processo inicial na estufa e secagem final no secador, e quatro dessas atingiram pontuação acima de 80 pontos. A maioria das propriedades fez uso de estufas para a secagem do café, durante todo o processo, devido ao baixo custo e controle de qualidade.

Apesar de situar no entorno de uma região semiárida, a ocorrência da sazonalidade, com chuvas concentradas no verão e inverno mais seco, torna o ambiente das áreas altas da Bahia peculiar e ideal para o cultivo de cafés especiais. Contudo, sabe-se que a produção dos cafés especiais necessita de um trabalho conjunto e harmonioso de toda a cadeia de produção, uma vez que a qualidade do café é moldada desde o plantio até o processamento pós-colheita (PINTO, 2002; DONNET et al., 2006; TOLESSA et al., 2017; PEREIRA et al., 2019).

Como toda a cafeicultura brasileira está situada em áreas de latitudes superiores a 4°, o café encontra-se fenologicamente em condições tropicais, não equatoriais. Logo, é possível afirmar que o ciclo é bem definido: florescimento na primavera, frutificação no verão, maturação no outono e colheita no inverno (CAMARGO & PEREIRA, 1994).

A esquematização das diferentes fases fenológicas do cafeeiro arábica é referencial para as pesquisas e observações na cafeicultura, pois possibilita identificar as fases que

exigem água facilmente disponível no solo e aquelas nas quais se torna conveniente ocorrer um pequeno estresse hídrico para induzir uma abundante florada; e viabiliza, entre outras coisas, a compreensão do processo reprodutivo e previsibilidade de maturação, de acordo com a variação climática ocorrente (CAMARGO & CAMARGO, 2001).

O fato é que a cafeicultura do Estado tem adquirido notoriedade em qualidade, com os cafés do Planalto Baiano (Chapada Diamantina e Planalto da Conquista), e produtividade no Oeste Baiano, comprovada em concursos de qualidade nacionais e internacionais. Todavia, apesar das evidências, diversos estudos de zoneamento agroclimático para cafeicultura, no Brasil, subestimam os cinturões de café arábica do Estado da Bahia, considerando-os zonas de alto índice de vulnerabilidade, devido à condição predominante do seu entorno, com clima majoritariamente quente e seco e de semiárido. Isso se deve à inexistência de estações meteorológicas representativas das áreas de cultivo de café, o que também limita qualquer discussão da qualidade, centralizada na questão agrometeorológica do ambiente.

No que diz respeito à qualidade do café, o *terroir* desempenha papel fundamental, já que o conceito remete a um espaço no qual ocorrem interações entre o ambiente físico, biológico e as práticas agrícolas, proporcionando características singulares ao produto originário desse espaço (YI PENG et al., 2020).

Na análise biplot clássica (Figura 6), o objetivo é agrupar as amostras (observações ativas), admitindo que haja similaridades. No entanto, a distribuição das observações ativas, cafés naturais (CN) e cafés despulpados (CD), apresentou-se dispersa em todo o plano cartesiano, não permitindo diferenciá-las por cluster.

Decorre que a preparação de cafés através de despolpa “via úmida”, a partir dos frutos maduros e com eliminação rápida da fonte de fermentação, pode resultar, se bem processada, em cafés de boa qualidade (CORTEZ, 2001). Há diferenças genéricas que afetam os atributos sensoriais dos cafés processados “via úmida” ou “via seca”, ambas requeridas por diferentes segmentos do mercado: os primeiros apresentam sabor mais suave, com menos corpo e elevada acidez, enquanto que os naturais possuem mais corpo e adstringência e menor acidez (CHAULFOUN & FERNANDES, 2013). No entanto, não foi possível inferir a respeito do processamento pós-colheita e efeito nos atributos de qualidade, pois se utilizou apenas o escore final da análise sensorial, sem detalhes dos principais atributos, que diferenciam os tratamentos.

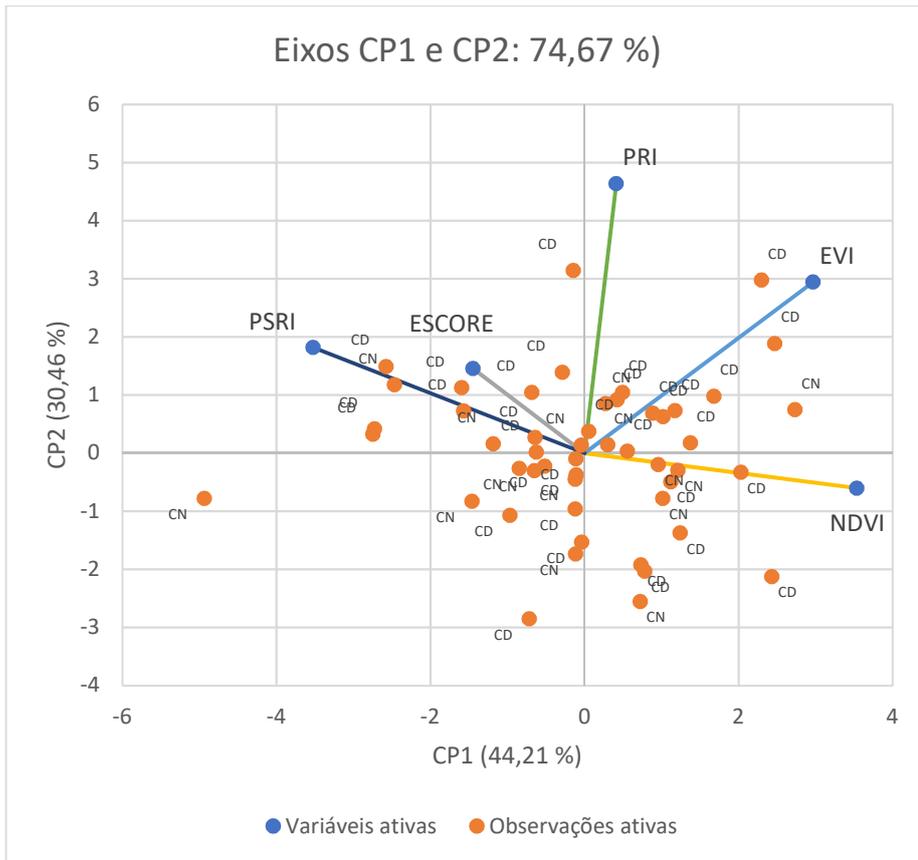


Figura 3.6 – Gráfico biplot a partir da análise de componentes principais (PCA). Os pontos correspondem às observações e os vetores representam as variáveis ativas (escores e médias dos índices espectrais NDVI, PSRI, PRI e EVI, no período de 01/09/2022 a 31/08/2022).

Analisando as variáveis ativas: escores e médias finais dos índices espectrais (EVI, NDVI, PSRI e PRI), obtidos na série temporal, correspondente ao ano fenológico I e II, explica-se com 74,67%, sendo 44,21% na CP1 (eixo “X”) e 30,46% na CP2 (eixo “Y”), a qualidade dos cafés, medida em escores, através de análise sensorial subjetiva.

Os índices PRI, EVI e NDVI estão explicados na CP+1; e p escore e PSRI estão alocados na CP-1. Variáveis localizadas no mesmo quadrante possuem associações entre si, com 44,21% de explicação, sendo possível inferir que a CP-1, o índice PSRI (*Plant Senescence Reflectance Index*) e escore estão correlacionados. É possível afirmar também que o índice PSRI possui correlação negativa com o índice NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), com grau de certeza alto, corroborando os estudos previamente realizados, em condições brasileiras, por Assad et al. (1988), Batista et al. (1993) e Volpato et al. (2013), que observaram relações espaciais entre NDVI e temperatura da superfície terrestre e dados de precipitação, onde os índices de NDVI abaixo de 70% indicaram ocorrência de estresse hídrico e/ou de temperatura.

O NDVI é utilizado em estimativas de biomassa e modificações no desenvolvimento fenológico de culturas, podendo ser aplicado, ainda, em estudos que envolvem variáveis hidrológicas, como a precipitação (NEZLIN, 2005). Foi verificado, na captação de dados, que o município de Barra do Choça possui índices de NDVI indicadores de estresse hídrico, nas áreas do estudo em questão, quando se compara com as regiões cafeeiras tradicionais.

Analisando a correlação do índice PSRI com a variável *escore*, a partir do *blipot* CP1 (Figura 3.6), não é possível elucidar a correlação, pois a variável *escore* também é explicada na CP2, com 30,46% de explicação. Dessalegn et al. (2008) relatam que a biossíntese de cafeína e sua acumulação nos grãos crus possam ser mais pronunciadas durante o estresse do que em condições favoráveis. Em alguns trabalhos, há citações de maiores teores de cafeína em amostras de café arábica de alta qualidade, quando comparadas com outras amostras de arábica de menor qualidade sensorial (FARAH et al., 2006; FRANCA et al., 2005). Na cafeicultura, regiões situadas em zonas de baixa umidade no inverno e chuvas concentradas no verão figuram com produções de alta qualidade sensorial, como as regiões da Chapada Diamantina e Cerrado Mineiro.

Altas produtividades e florada uniforme são induzidas por estresse hídrico em regiões cafeeiras. Entretanto, ainda não temos muitos estudos correlacionando a qualidade sensorial ao índice PSRI ou estresse hídrico. Matiello (2006) afirma que, quando o período de pós-colheita é bem seco, vários grupos (séries) de gemas florais chegam à maturação e logo entram em dormência de forma mais uniforme, levando a floradas e, conseqüente frutificação e maturação também mais homogêneas, o que facilita a colheita e a qualidade do café. Castro e Marraccini (2006) afirmam que os maiores valores de sacarose foram observados nos regimes de maior restrição hídrica. De acordo com Salva et al. (2015), a sacarose é a principal representante de açúcares livres no grão de café arábica maduro. A sacarose acumulada nos frutos maduros ocorre nos estágios finais da maturação, chegando a 8,5% na espécie *Coffea arabica*, e constitui um dos componentes para as características de qualidade da bebida. No presente estudo, os índices de PSRI indicam que o cinturão cafeeiro de Barra do Choça, produtor de café de qualidade, foi submetido a estresse hídrico.

Os índices EVI e PRI estão correlacionados entre si na CP2, pois ambos estão localizados na CP+2, no mesmo quadrante, mais próximos do eixo “Y”. O índice PRI (*Photochemical Reflectance Index*) é um índice espectral cada vez mais utilizado como indicador da eficiência fotossintética e está relacionado com eficiência do uso da luz solar. De acordo com Valeriano (2003), a direção da exposição solar desempenha um papel importante na evapotranspiração e no balanço hídrico das culturas. Além disso, a exposição

da encosta influencia a temperatura do ar, afetando a duração do ciclo de produção e determinando a época da colheita, que é importante para a qualidade dos grãos de café (FERREIRA et al., 2012).

3.4 CONCLUSÃO

1. O índice de NDVI, indicativo de vigor da planta, não está relacionado com a qualidade e se correlaciona, negativamente, com as médias do índice PSRI;
2. O índice PSRI está correlacionado com a qualidade e necessita ser melhor estudado;
3. Com base nos resultados obtidos, é possível inferir que o tratamento pós-colheita influenciou na dispersão da qualidade do café de Barra do Choça.

3.5 REFERÊNCIAS

Ayoade, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos. 10^a ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

Assad, E. D.; Setzer, A.; Moreira, L. **Estimativa da precipitação através do índice de vegetação do satélite NOAA**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5. 1988, Natal. Anais. São José dos Campos: INPE, 1988. p. 425-429.

ABIC. Associação Brasileira das Indústrias de Café. Programa de Qualidade do Café. Disponível, 2023. Disponível: <https://www.abic.com.br/certificacoes/qualidade/>.

Bardin-Camparotto, L. et al. Época provável de maturação para diferentes cultivares de café arábica para o Estado de São Paulo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.4, p.594-599, abr, 2012.

Batista, G.T.; Shimabukuro, Y.E.; Lawrence, W.T. Monitoramento da cobertura florestal através de índice de vegetação do NOAA-AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7, 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1993. p. 30-37.

Borém, F. M., Reinato, C. H. R. (2006). Qualidade do café despolpado submetidos a diferentes processos de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**, 9, 26-31.

Borém, F. M; Coradi, P. C; Saath, R; Oliveira, J. A. Qualidade do café natural e despolpado após secagem em terreiro e com altas temperaturas. **Revista Brasileira de Ciência e Agrotecnologia**, 2008.

Camargo, A.P. de; Pereira, A.R. Agrometeorology of the coffee crop. Geneva: World Meteorological Organization. 1994. 96p. (World Meteorological Organization. CAgM Report, 58).

Camargo, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.20, n.7, p. 831-839, 1985.

Camargo, A. P.; Camargo, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

Cargnelutti Filho, A. et al. Altitude e coordenadas geográficas na estimativa da temperatura mínima média decendial do ar no estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.893-901, 2006.

Castro, R. D.; Marraccini, P. Biochemistry and molecular changes during coffee fruit development. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 18, n. 1, p. 175-199. 2006.

Chalfoun, S. M.; Fernandes, A. P. Efeitos da fermentação na qualidade da bebida do café. **Visão Agrícola**, USP, p. 105-108, 2013.

Cortez, J. G. **Efeito de espécies e cultivares e do processamento agrícola e industrial nas características da bebida do café**. 2001. 71p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

Dessalegn, B; Landau, B. More than meets the eye: The role of language in binding and maintaining feature conjunctions. **Psychological Science**, v.19, n.2, p.189-195. 2008.

Donnet, M. L.; Weatherspoon, D. D. Effects of sensory and reputation quality attributes on specialty coffee prices. IN: **American Agricultural Economics Association Annual Meeting**. Long Beach, EUA. Anais... Michigan State University, 2006. p. 1-12.

Elliott, C. Considering the connoisseur: Probing the language of taste. **Canadian Review of American Studies**, v.36, n.2, p. 229-236. 2006.

Fagan, E. B. et al. Efeito do tempo de formação do grão de café (*Coffea sp.*) na qualidade da bebida. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n.5, p. 729-738. 2011.

Farah, A.; Monteiro, M.C.; Calado, V.; Franca, A.; Trugo, L.C. Correlation between cup quality and chemical attributes of Brazilian coffee. **Food Chemistry**, v.98, n.2, p.373-380, 2006.

Ferreira, W. P. M.; Ribeiro, M. de F.; Fernandes Filho, E. I.; Souza, C. de F.; Castro, C. C. R. de. **As características térmicas das faces noruega e soalheira como fatores determinantes do clima para a cafeicultura de montanha**. Documentos - Embrapa Café, Brasília, v. 10, 34 p., 2012.

Franca, A.S.; Mendonça, J.C.F.; Oliveira, S.D. Composition of green roasted coffees of different cup qualities. **Food Science and Technology**, Belo Horizonte, v.38, n.7, p.709-715. 2005.

Fritzsons, E.; Mantovani, L. E.; Wrege, M. S. Relação entre altitude e temperatura: Uma contribuição ao zoneamento climático no Estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica). Ano 12 – Vol. 18 – JAN/JUN 2016.

Gorelick, N.; Hancher, M.; Dixon, M.; Ilyushchenko, S.; Thau, D.; Moore, R. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**. Vol. 202, pp. 18-27. December, 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE). Informações por Cidade e Estado. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias-novoportal/por-cidade-estadogeociencias.html>. Acesso em: 10 ago. 2022.

Matiello, J.B.; Almeida, S.R.; Carvalho, C.H.S. Resistant cultivars to coffee leaf rust. In: Zambolim, L.; Zambolim, E.M.; Várzea, V.M.P. (Eds.). **Durable Resistance to Coffee Leaf Rust**. Viçosa: UFV, 2005. p 443-450.

Matiello, J. B.; Brito, G. Balanço hídrico na região de Barra do Choça, Planalto da Conquista, na Bahia. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras (CBPC), 42, 2016, Serra Negra, SP. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2016. Resumo.

Naranjo, M.; Vélez, L.; Rojano, B. Atividade antioxidante do café colombiano de diferentes localidades. **Revista Cubana de Plantas Medicinales**, v.16, n.2, p.164-173. 2011.

Naranjo, RDP *et al.* Impressões Digitais das Principais Variedades de Vinhos Argentino: Diferenciação do terroir por análises isotópicas inorgânicas, orgânicas e estáveis acopladas à quimiometria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, n.14, p.7854-7865, 2011.

Nezlin, N.P.; Kostianoy, A.G.; Bai-Lian, L.I. Variabilidade interanual e interação do índice de vegetação por sensoriamento remoto e precipitação atmosférica na região do Mar Aral. **Journal of Arid Environments**, v. 62, n.4, p.677-700. 2005.

Rosa, M. R., Brancalion, P., Crouzeilles, R., Tambosi, L., Piffer, P., Lenti, F., Hirota, M., Santiamand, E., Metzger, J. P. Destruição oculta de florestas ameaça a Mata Atlântica do Brasil e desafia programas de restauração. **Science Advances**, v.7, p.1. 2021.

Salva, T.J.G.; Lima, V.B. A composição química do café e as características da bebida e do grão. **O Agrônomo**. Campinas, v.59, n.1, p. 57-59, 2007

Silva, A. S.; Queiroz, D. M.; Pinto, F. A. C.; Santos, N. T. Caracterização e delimitação de terroirs de café em lavouras no município de Araçuaia – MG. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 1, p. 18-26. 2014.

Silva, S.A.; Lima, J.S.S.; Alves, A.I. Estudo espacial do rendimento de grãos e porcentagem de casca de duas variedades de *Coffea arabica* L. visando a produção de café de qualidade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 558-565. 2010.

Silva, S.A; Queiroz, D.M; Pinto, F.A.C; Santos, N.T. Characterization and delimitation of the terroir coffee in plantations in the municipal district of Araçuaia, Minas Gerais, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 18-26. 2014.

Silva, S.A.; Lima, J.S.S.; Alves, A.I. Estudo espacial do rendimento de grãos e porcentagem de casca de duas variedades de *Coffea arabica* L. visando a produção de café de qualidade. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 4, p. 558-565. 2010.

Specialty Coffee Association. Protocolo para análise sensorial de café - Metodologia SCA. SCA Cupping Protocols. Doc. 5, 2008. 13 p.

Tolessa, K; Rademaker, M.; DE Baets, B.; Boeckx, P. Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. **Talanta**, v.150, p.367-374. 2016.

Vaast, P.; Bertrand, B.; Perriot, J-J.; Guyot, B.; Génard, M. Fruit thinning and shade improve bean characteristics and beverage quality of coffee (*Coffea Arabica* L.) under optimal conditions. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v.86, n. 2, p.197-204, 2006.<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.2338>

Valeriano, M. M. Topodata: guia para utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/guia-enx.pdf>. Acesso em: 11 out. 2022.

Volpato, M. M. L.; Vieira, Tatiana Grossi Chquiloff; Alves, H. M. R.; Santos, W. J. R. Imagens do sensor modis para monitoramento agrometeorológico de áreas cafeeiras. **Coffee Science**, v. 2, p. 176-182, 2013.

Yi Peng, Yannik E. Roell, Anders Bjørn Møller, Kabindra Adhikari, Amélie Beucher, Mette B. Greve, Mogens H. Greve. Identifying and mapping terrons in Denmark. **Geoderma**, Volume 363, 2020,114174, ISSN 0016-7061. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114174>.

ARTIGO II

Impressão digital e variabilidade espacial da qualidade do café torrado do município de Barra do Choça-BA: Análises espectroscópicas por ressonância magnética nuclear (RMN) aliada à quimiometria

4. **ARTIGO II** – Impressão digital e variabilidade espacial da qualidade do café torrado do município de Barra do Choça-BA: análises espectroscópicas por ressonância magnética nuclear (RMN) aliada à quimiometria

RESUMO

Sabe-se que a qualidade e singularidade do café são dependentes de diversos fatores, dentre eles, o genótipo, a origem geográfica, o tipo de cultivo, o beneficiamento e o armazenamento. A ciência ainda não elucidou muito bem as questões geográficas e de processamento pós-colheita, enquanto outros podem ser melhor compreendidos. Com a finalidade de identificar marcadores de qualidade e origem dos cafés produzidos no município de Barra do Choça, importante produtor de café arábica do Planalto Baiano, utilizou-se o RMN de ^1H combinado com análise multivariada, para examinar a impressão digital dos cafés torrados e verificar distinções químicas que se relacionam com a qualidade sensorial das amostras. Foram analisados os espectros de 78 amostras representativas de café, produzido em diferentes regiões de cultivo do município de Barra do Choça, com grau de torra padronizada em todas as amostras, sendo possível formar um banco de informações espectrais dos cafés arábicas do *terroir*. A análise discriminante não revelou distinção entre as amostras, não sendo possível formar clusters, ou seja, agrupar os cafés de acordo com a localização ou tipo de beneficiamento pós-colheita. No entanto, a análise revelou um padrão espectral das amostras e diferenças nos deslocamentos dos compostos trigonelina e ácido clorogênicos dos espectros de RMN de ^1H em 500 MHz, correlacionados com a qualidade sensorial, cujos cafés de melhor qualidade apresentaram maiores deslocamentos.

Palavras-chave: Análise multivariada, *Coffea arabica*, análise sensorial, espectroscopia, rastreabilidade.

ABSTRACT

It is known that aspects of coffee quality and uniqueness depend on several factors, including genotype, geographic origin, type of cultivation, processing and storage. Science has not yet elucidated the geographic and post-harvest processing issues very well, while others can be better understood. In order to identify markers of quality and origin of the coffees produced in the municipality of Barra do Choça, an important producer of arabica coffee in the Planalto Baiano, ^1H NMR combined with multivariate analysis was used to examine the fingerprint of roasted coffees and verify chemical distinctions that relate to the sensory quality of the samples. The spectra of 78 representative samples of coffee produced in different

growing regions of the municipality of Barra do Choça were analysed, with standardized roasting degree in all samples, making it possible to form a spectral information bank of *terroir* arabica coffees. The discriminant analysis did not reveal any distinction between the samples, it was not possible to form clusters, that is, to group the coffees according to location or type of post-harvest processing. However, the analysis revealed a spectral pattern of the samples and differences in the shifts of trigonelline and chlorogenic acid compounds in the ¹H NMR correlated with sensory quality, where better quality coffees showed greater shifts.

Keywords: multivariate analysis, *Coffea arabica*, sensory analysis, spectrometry, traceability.

4.1 INTRODUÇÃO

A qualidade do café e sua peculiaridade é intrinsecamente dependente de diversos fatores, dentre eles, espécies/cultivares, origem geográfica, tipos dos grãos, colheita, processamento pós-colheita, torrefação e armazenamento. Muitos desses aspectos não estão totalmente elucidados pela ciência, como a origem geográfica e o processamento pós-colheita (TOCI et al., 2018).

Face à oferta diversificada e ao fato de que os consumidores passaram a valorizar produtos com selo de origem, a confirmação de autenticidade, por meio de análises químicas/físicas, apresenta-se relevante. Por isso, há um grande interesse na caracterização química dos cafés brasileiros e na identificação de compostos que possam ser usados futuramente como marcadores de qualidade (TOLEDO, 2018). Além disso, existem poucos estudos correlacionando a composição química dos grãos com a qualidade da xícara de café (FRANCA et al., 2005; FARAH et al., 2006).

Dentre os diversos métodos de análise de alimentos, a técnica da Ressonância Magnética Nuclear (RMN), impulsionada pelo progresso da tecnologia e ciência, atualmente consiste numa técnica poderosa para determinação de estruturas de compostos orgânicos. A combinação da espectroscopia com métodos quimiométricos de análise é usualmente aplicada no controle e monitoramento de processos, determinação da origem geográfica, avaliação sensorial, determinação de fraude, entre outras (CONSONNI et al., 2012; BRESCIA et al., 2005).

A vantagem da união entre a quimiometria e RMN deve-se ao fato de que a primeira é uma ferramenta de análise de dados complexos, enquanto que a segunda possibilita a

obtenção de um grande número de informações (variáveis) em uma única medida, de forma rápida e simples, o que torna a junção das técnicas atrativa.

Visto que o ambiente e as características endoclimáticas, onde são cultivados os cafés brasileiros, são distintos entre si e representam um fator determinante na definição da qualidade, diversos são os trabalhos em andamento, com a finalidade de desenvolver métodos para determinação da origem de cafés, bem como definir compostos químicos capazes de discriminar ambientes (BERTRAND et al., 2008; FIGUEIREDO, 2013). Dessa forma, o presente estudo busca, por meio da espectroscopia por RMN ^1H , apoiada na quimiometria, obter a impressão digital para a finalidade de rastrear a origem dos cafés do município de Barra do Choça-BA, através da obtenção do perfil químico.

4.2 MATERIAL E MÉTODO

4.2.1 Área de estudo

O estudo foi conduzido com amostras de café arábica beneficiado, safra 2021/2022, do município de Barra do Choça, Bahia (Figura 4.1). Foram analisadas 78 amostras, beneficiadas de forma natural e despulpadas.

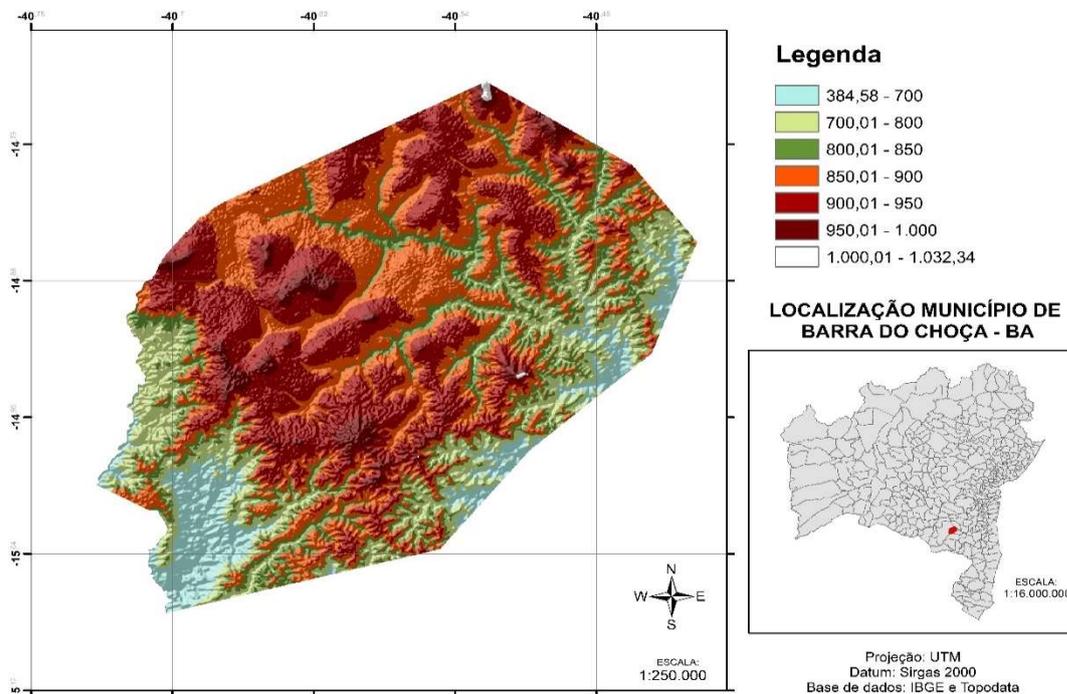


Figura 4.1 – Mapa de localização e hipsometria (altitude) do município de Barra do Choça, BA.

Todas as amostras são oriundas de lavouras localizadas no perímetro do município de Barra do Choça (Figura 4.1), município do Estado da Bahia, localizado no Território de Identidade do Sudoeste Baiano, inserido na região formada pela Cadeia do Espinhaço, denominada Planalto da Conquista, com altitudes variáveis de 384 a 1032,34m (Figura 4.1).

O município tem notoriedade no cenário agrícola cafeeiro como principal produtor do território de identidade do Sudoeste Baiano e quarto produtor de café arábica do Estado da Bahia (IBGE, 2017).

4.2.2 Análise sensorial

A qualidade da xícara de café, determinada pelos atributos sensoriais avaliados por provadores profissionais, é um fator decisivo para a avaliação do café, sendo a classificação *Specialty Coffee Association* (SCA) considerada atualmente a mais adequada (Belchior et al., 2019). A análise sensorial foi realizada de acordo com a metodologia padrão *Specialty Coffee Association* (SCA), com amostras em condições idênticas, em triplicata, realizados por cinco provadores Q-graders, onde se atribui notas de 0 a 10 para os atributos de fragrância/aroma, uniformidade, presença de defeitos, doçura, sabor, acidez, corpo, retrogosto, equilíbrio e experiência geral, que totalizam uma nota geral de 0 (zero) a 100 (cem) pontos. Esse último aspecto constitui a impressão geral (avaliação pessoal do provador). Em cada avaliação, foram provadas três amostras codificadas (teste cego) de café representando cada lote, quando avaliaram os atributos das amostras, em procedimento padrão “prova de xícara” (aspirar/degustar/descartar), e atribuíram o seu conceito de qualidade global na Ficha de avaliação.

As 78 amostras foram discriminadas em cinco grupos distintos, conforme a pontuação obtida no painel sensorial: 36 classificadas como especiais, 17 gourmets, 6 superiores, 2 tradicionais e 16 de qualidade inferior. Os cafés foram divididos em dois subgrupos, naturais e despulpados.

4.2.3 Obtenção de amostras para espectroscopia

Os cafés analisados foram oriundos do 1º concurso de qualidade do município de Barra do Choça, BA cujas amostras foram secadas na propriedade de origem. O beneficiamento do grão verde, secagem, despulpa, descasca e fermentações foram realizados pelos produtores. A torra padronizada foi executada conforme procedimento padrão para a finalidade de análise sensorial, no laboratório da Cooperativa Mista dos Cafeicultores de

Barra do Choça LTDA, cooperativa organizadora do concurso, como parte do protocolo da 1ª etapa do concurso de qualidade, ocorrida em 02 de setembro de 2022. O tempo da torra ocorreu entre 8 e 10 minutos, sob temperatura de 220 °C, respeitando as características da amostra, obtendo um ponto de torra de média intensidade (figura 4.2).

As amostras foram moídas em moedor elétrico de lâmina (figura 4.2), com capacidade para 45g, por 25 segundos, em seguida, ensacadas, seladas a vácuo (figura 4.2) e reservadas.



Figura 4.2 – Etapas de moagem e embalagem das amostras de café torrado.

Para proceder as análises espectroscópicas, as amostras moídas foram pesadas em balança analítica, 10,000g de cada amostra para a realização do procedimento de hidroextração, realizado com cafeteira semiautomática, pressão 15 bars constante, da marca Oster, modelo Prima Latte, através da programação padrão café curto (35 mL). Em seguida, uma alíquota de 500 µL da solução foi transferida para um tubo de RMN, com auxílio de uma micropipeta.



Figura 4.3 – Cafeteira elétrica semiautomática (A) e café extraído em água destilada, em cafeteira semiautomática, 15 bars, e materiais para obtenção da amostra a ser analisada. 1- água deuterada, 2- tubo de RMN, 3- Becker com a extração aquosa de café (B).

Para manter o campo magnético uniforme e estável, foram adicionados 100 μ L de água deuterada com o padrão interno, para referência de deslocamento químico TMS_P-d₄ (2,2,3,3-d₄-3-trimetilsililpropionato de sódio).

4.2.4 Espectroscopia de RMN ¹H

Antes de proceder as análises, o espectrômetro de RMN foi previamente calibrado. Após a calibração, os espectros foram obtidos, utilizando, para tanto, um tempo de espera entre cada experimento de 25 s, 64 varreduras, ganho de 10, em janela espectral de -1 a 11 ppm, com 32K de número de pontos, resultando em um tempo de aquisição de 8 min.

Os espectros de RMN ¹H foram adquiridos para todas as 78 amostras no equipamento Varian Inova 500, de 11,7 Tesla (500 MHz para a frequência do hidrogênio e 125 MHz para a do carbono), usando uma detecção de banda larga 5mm sonda direta. Todos os espectros foram obtidos à temperatura ajustada a 300K e gradiente de campo no eixo z. Na aquisição dos espectros de ¹H, a janela espectral (*Spectral Width* – SW) foi ajustada para o intervalo de -1 a 11 ppm, com 32768 pontos. Foram feitas 78 aquisições, utilizando um pulso de 7,0 μ s (P1), tempo de aquisição 5,5 s (Acquisition – AQ), tempo de espera entre cada aquisição de 2,0 s (D1) e fator de ganho do receptor de 34 (RG). Para supressão do sinal de água (em 4,90 ppm), foi usada a sequência de pulso Presat, com atenuação da potência para supressão ajustada para 3 dB.

Convencionou-se TMS_P-d₄ (2,2,3,3-d₄-3-trimetilsililpropionato de sódio) como substância de referência-padrão, também chamada de TMS. O composto foi escolhido porque os prótons de seus grupos metila são mais blindados do que os da maioria dos outros compostos conhecidos. Assim, quando outro composto é medido, a ressonância de seus prótons é informada por deslocamento (em hertz), em relação aos prótons do TMS (Pavia, 2010).

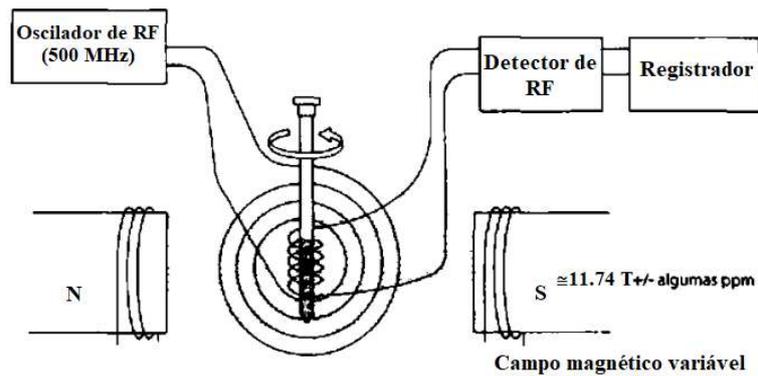


Figura 4.4 – Elementos básicos de espectrômetro de ressonância magnética nuclear clássico (Adaptado, Pavia, 2010).

4.2.4 Quimiometria

O tratamento dos dados foi realizado por meio da quimiometria, obtido com auxílio do programa Pirouette, versão 4.0 (InfoMetrix Inc., Bothell, Washington, USA). Os parâmetros e variáveis foram otimizados a partir das análises dos espectros de RMN de ^1H , a fim de obter melhores resultados da técnica de PCA. Com relação aos parâmetros, foram usadas a normalização (norma um) e o autoescalamamento, sendo excluídos os ruídos espectrais e regiões de solventes como a da água residual da supressão e do TMS- d_4 .

Os métodos quimiométricos são utilizados para identificar as semelhanças e diferenças em diferentes tipos de amostras, agrupá-las e classificá-las. O método de Análise de Componentes Principais (PCA) constitui o principal método quimiométrico, com larga utilização em análises de alimentos.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises sensoriais revelaram produção de cafés especiais no cinturão cafeeiro de Barra do Choça (Figura 4.5).

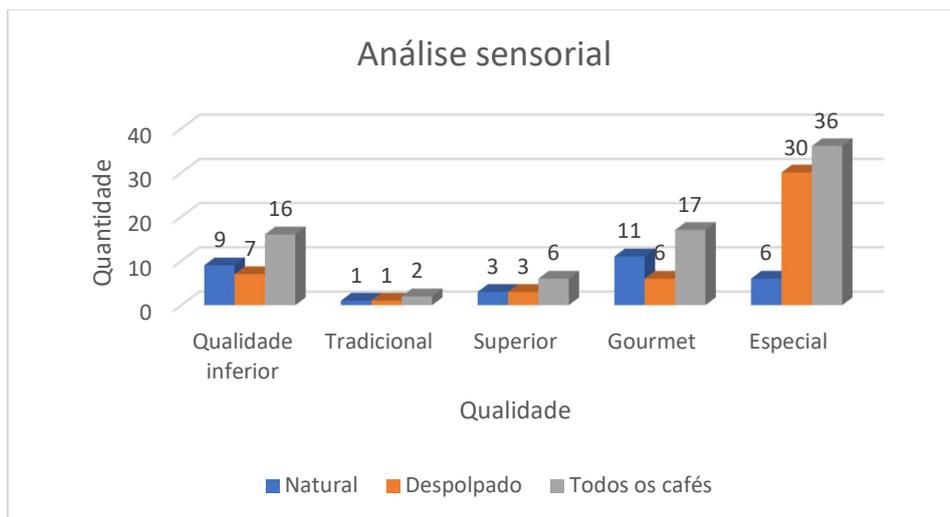


Figura 4.5 – Resultado da análise sensorial, método SCA, e classificação da qualidade dos cafés: Especiais $\geq 80,0$ pontos, gourmet $80,0 \geq 70,0$ pontos, superior $70,0 \geq 60,0$, tradicional $60,0 \geq 45,0$, qualidade inferior $\leq 45,0$ pontos.

Devido à composição química e transformações que podem ocorrer durante os processos de beneficiamento da cadeia produtiva, o café é considerado uma das matrizes alimentícias mais complexas já estudadas (ROSAS, 2010). De forma precisa, as análises dos espectros de RMN de ^1H revelaram a presença de compostos químicos (Figura 4.6, 4.7 e 4.8), mas apenas os compostos de importância qualitativa para a bebida constituíram objeto de estudo.

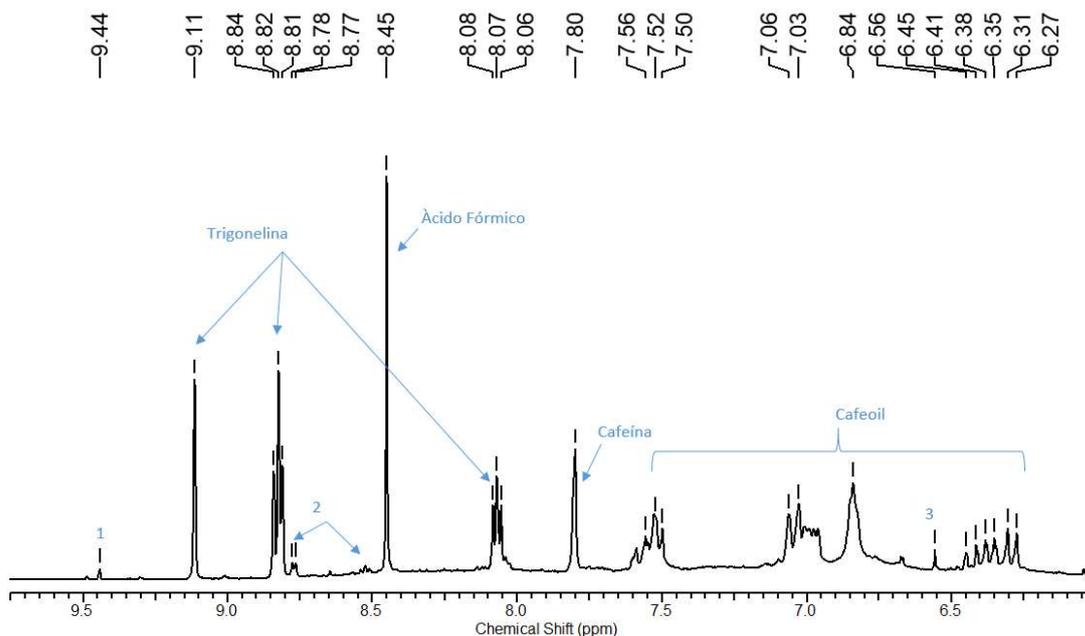


Figura 4.6 – Ampliação do espectro de RMN de ^1H em 500 MHz na região de 6.00 a 9.75 ppm para o café de número 33 (análise sensorial de 82,4 pontos/ variedade grupo catuaí/ despolpado). 1: 5-hidróximetilfurfural (5-HMF), 2: Nicotinato de metila, 3: Ácido fumárico, obtidos em um equipamento de 11,7T.

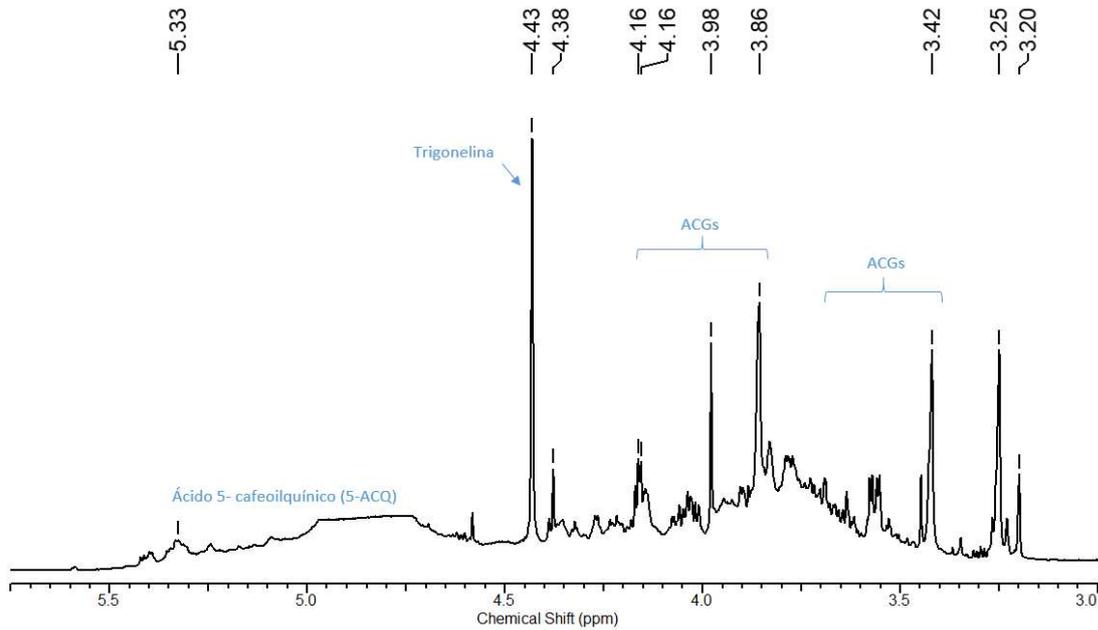


Figura 4.7 – Ampliação do espectro de RMN de ^1H em 500 MHz na região de 3.00 a 6.00 ppm para o café de número 33.

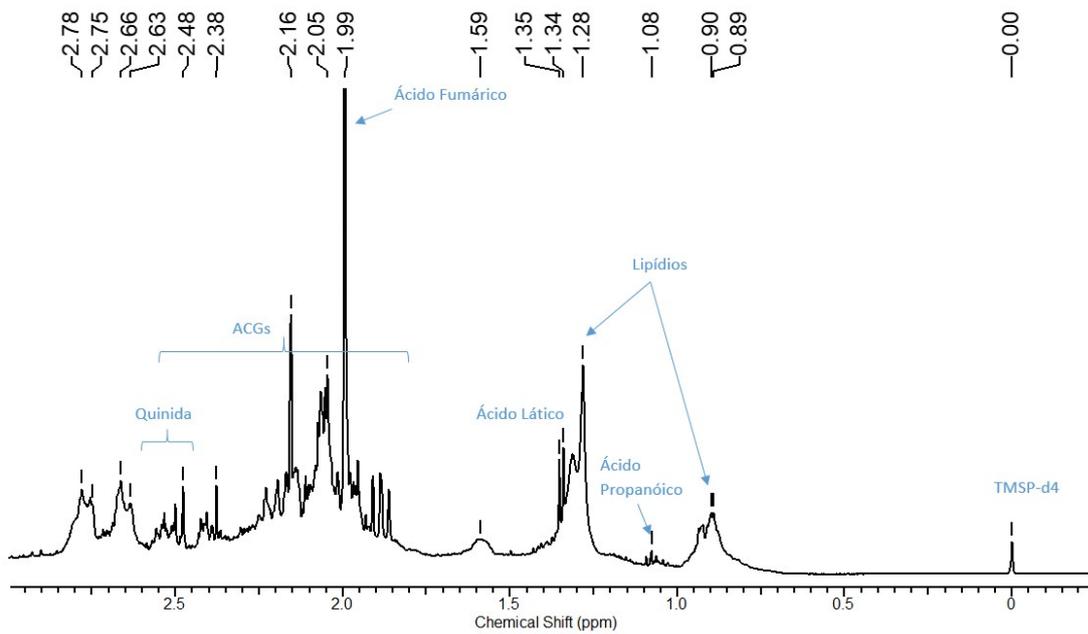


Figura 4.8 – Ampliação do espectro de RMN de ^1H em 500 MHz na região de 0.00 a 3.00 ppm para o café de número 33.

Segundo Tavares e Ferreira (2006), a região 6,1 a 9,3 ppm constitui a melhor faixa discriminação para análises de amostras. Foi verificada uma maior importância da cafeína e

dos ácidos clorogênicos nessa discriminação, e apenas uma pequena contribuição da trigonelina (TAVARES et al., 2008).

Em uma primeira abordagem, sabe-se que a composição química é resultado de distintos processos que vão desde a pré-colheita até o armazenamento do produto final. Neste contexto, a composição da informação química de origem pode passar por diversas transformações. Embora isto aconteça, o perfil químico final da bebida pode trazer partes desse registro metabólico original do fruto.

Tipos diferentes de prótons têm deslocamentos químicos diferentes, mas cada um tem também um valor característico de deslocamento químico. Cada tipo de próton tem apenas uma faixa limitada de valores de δ dentro da qual gera ressonância, o que permite identificar o comportamento das substâncias a partir da ampliação do espectro em faixas conhecidas.

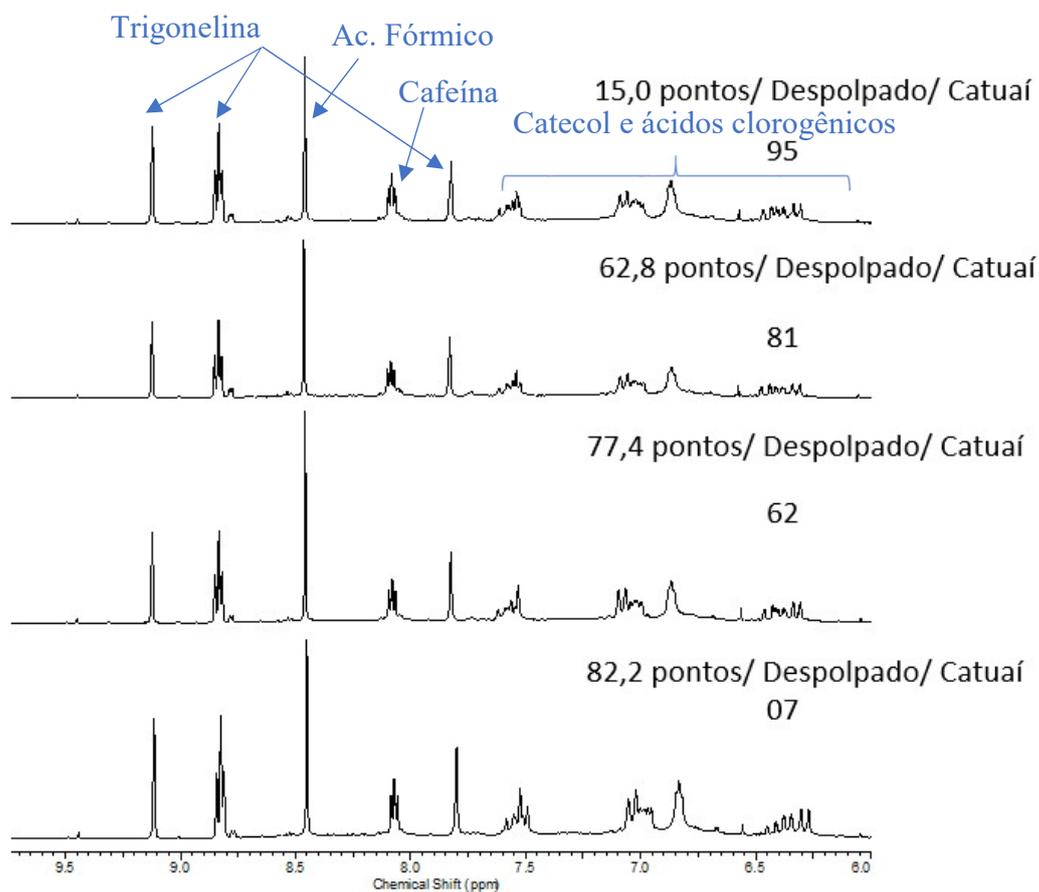


Figura 4.9 – Ampliação dos espectros (*fingerprint*) de RMN de ¹H em 500 MHz na região de 10.00 a 6.00 ppm para os cafés de número 95, 81, 62 e 07.

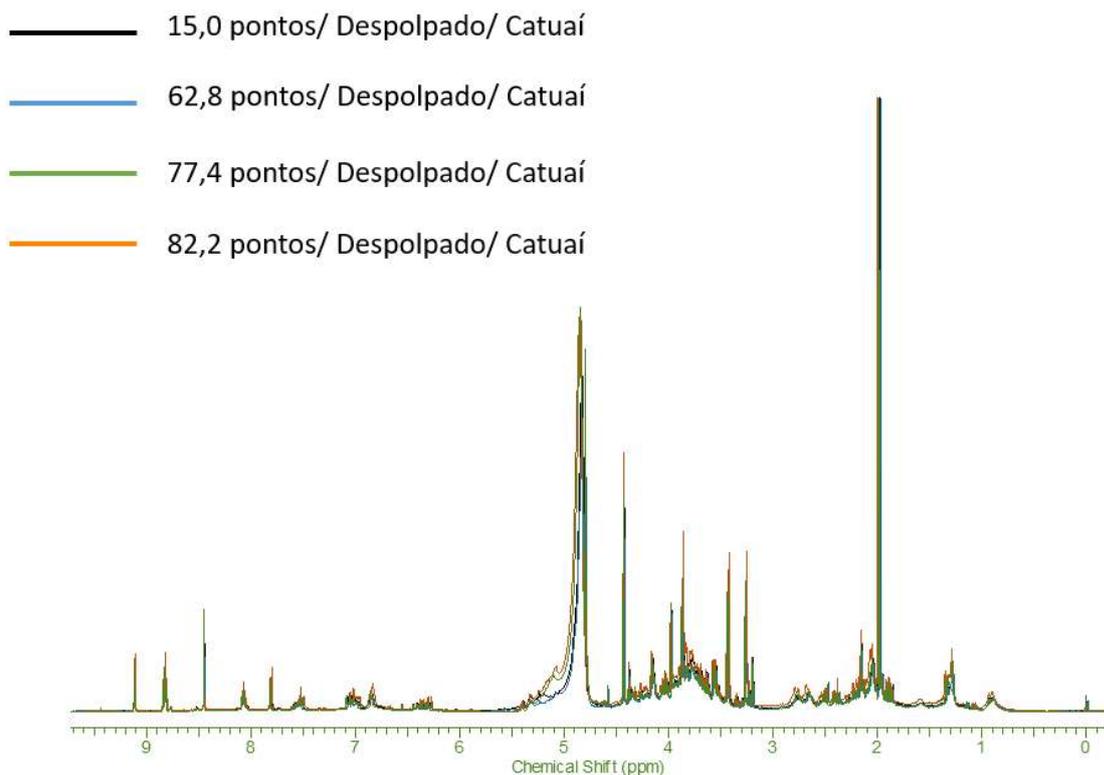


Figura 4.10 - Ampliação dos espectros (*fingerprint*) de RMN de ^1H em 500 MHz na região de 0.00 a 10.00 ppm para os cafés de número 95, 81, 62 e 07.

Na ampliação espectral (Figura 4.9), é possível visualizar um padrão de deslocamento de compostos químicos, o que sugere ser a impressão digital dos cafés da região. As amostras não apresentaram grandes variações nos deslocamentos, indicando um padrão, devido à origem das amostras de um único município, e da quantidade de repetibilidade de análises espectrais.

Observou-se diferenças visuais, discretas, nos deslocamentos químicos da trigonelina, cafeína, catecol e ácidos clorogênicos entre todas as amostras. Foi possível analisar que cafés com maior qualidade sensorial possuem maiores deslocamentos da trigonelina e ácidos clorogênicos. Correlação também observada por Santos (2019) que, ao analisar espectros de cafés gourmet e superiores, verificou maiores teores de ácidos clorogênicos e trigonelina, substâncias que contribuem com o aroma e sabor agradável da bebida, quando comparados com cafés de qualidade inferior. Todavia, os deslocamentos apresentaram um padrão e diferenças discretas entre amostras e grande variabilidade de substâncias, não conseguindo prever a qualidade.

As amostras apresentaram diversidade de tratamentos (cafés naturais, despolpados e fermentados), diversidade genética, diversidade de qualidade e localização dispersa em toda

a área viável para a cafeicultura no município de Barra do Choça, possibilitando a realização de diferentes análises.

O conjunto amostral, representado pelos 78 espectros de RMN de ^1H , foi submetido à análise exploratória por PCA, sob diferentes critérios de análises, a partir dos quais não foram identificadas tendências de discriminação entre amostras, como podemos observar no gráfico de escores de PC1 x PC2 (Figura 4.11, 4.12, 4.13 e 4.15). A tipologia foi realizada por meio da análise de agrupamentos (*clustering*), aplicando-se estatística multivariada.

Tendo como objetivo avaliar o comportamento dos cafés, tais como beneficiados de forma natural e despulpado, foi feita uma análise por PCA que resultou num gráfico inconclusivo (Figura 4.11), no qual as amostras de café despulpado e naturais se distribuíram de maneira anacrônica, não apresentando similaridades por tratamento.

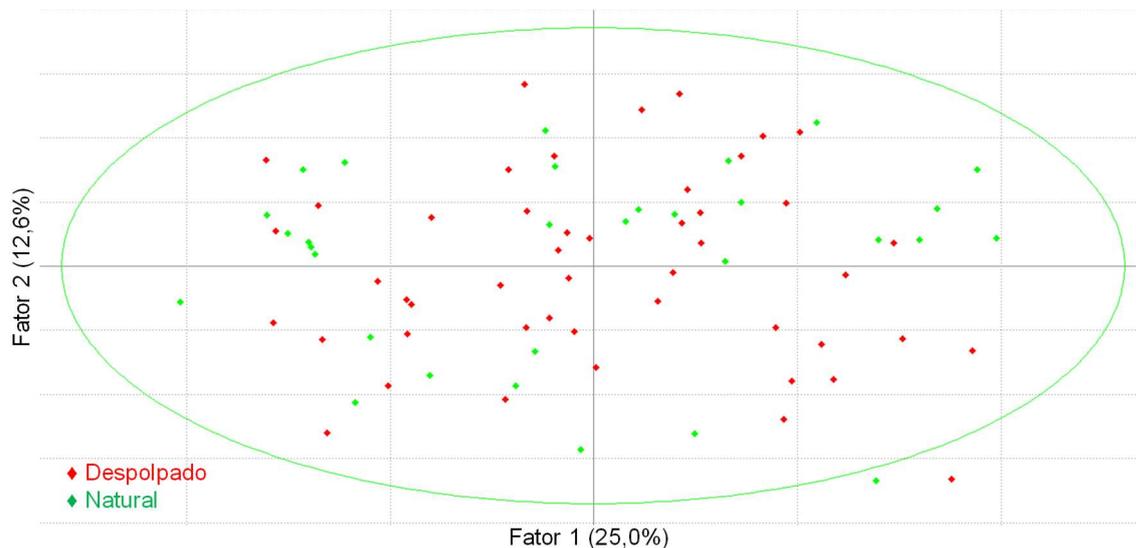


Figura 4.11 – Resultado da análise exploratória por PCA, explicação de 37,6%, gráfico de dispersão obtido utilizando como classe 1 os cafés despulpados (CD) e classe 2 os cafés naturais, não sendo possível verificar a separação dos dois grupos.

Buscando avaliar o comportamento dos cafés, com o parâmetro de localização, avaliando a longitude em quatro extratos, foi feita uma análise por PCA que resultou num gráfico inconclusivo (Figura 4.12), no qual todas essas amostras apresentam diferenças características em suas composições.

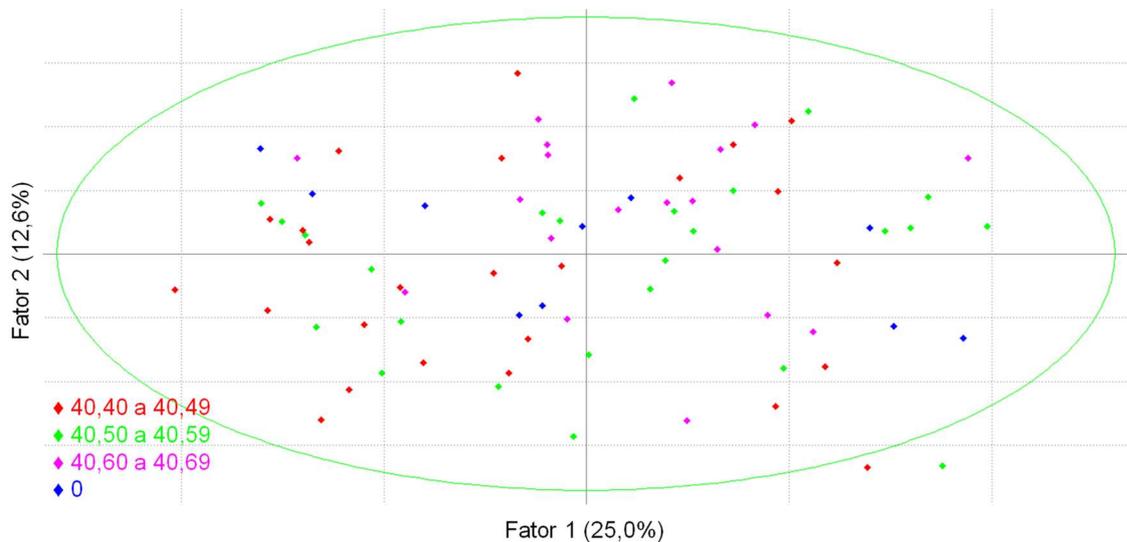


Figura 4.12 – Resultado da análise exploratória por PCA, Explicação de 37,6%, gráfico de dispersão obtido utilizando como classe 1 os cafês com longitude entre 40,40 a 40,49; classe 2 os cafês com latitude entre 40,50 a 40,59; classe 3 os cafês com longitude entre 40,60 a 40,69; e classe 4 os cafês cuja latitude é incerta. Não sendo possível verificar uma separação entre os quatro grupos.

Objetivando avaliar o comportamento dos cafês, por meio de parâmetros de localização, avaliando-se a latitude em cinco extratos, foi feita uma análise por PCA que resultou num gráfico inconclusivo (figura 4.13), no qual todas essas amostras apresentam diferenças características em suas composições.

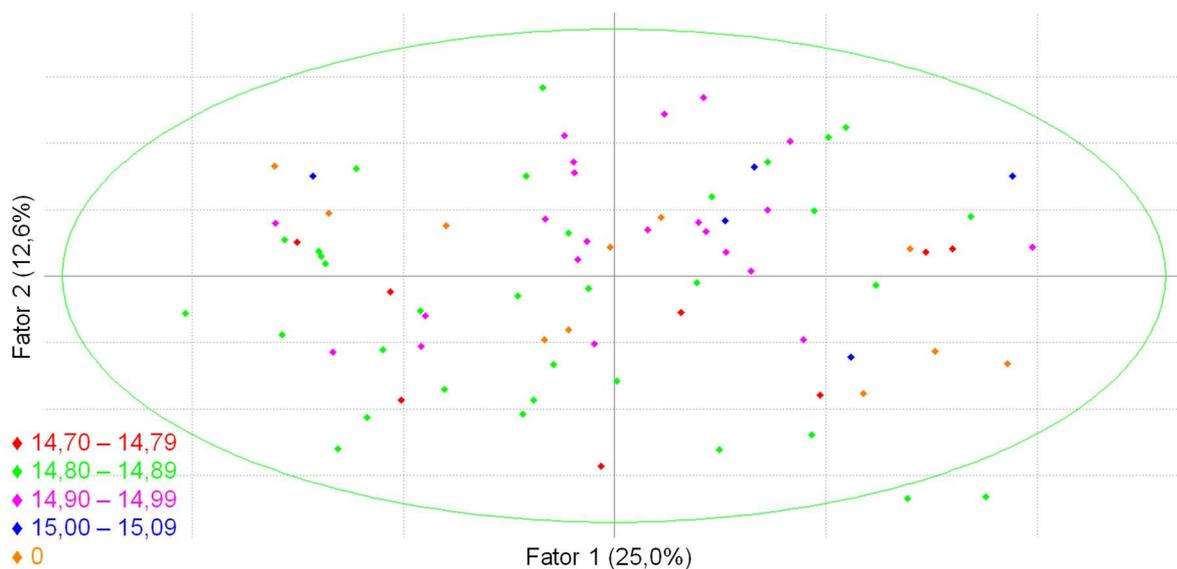


Figura 4.13 – PCA obtido utilizando como classe 1 os cafês com latitude entre 14,70 – 14,79; classe 2 os cafês com latitude entre 14,80 – 14,89; classe 3 os cafês com latitude entre 14,90 – 14,99; classe 4 os cafês com latitude entre 15,00 – 15,09; e classe 5 os cafês cuja latitude é incerta, com explicação de 37,6%. Não sendo possível verificar uma separação entre os cinco grupos.

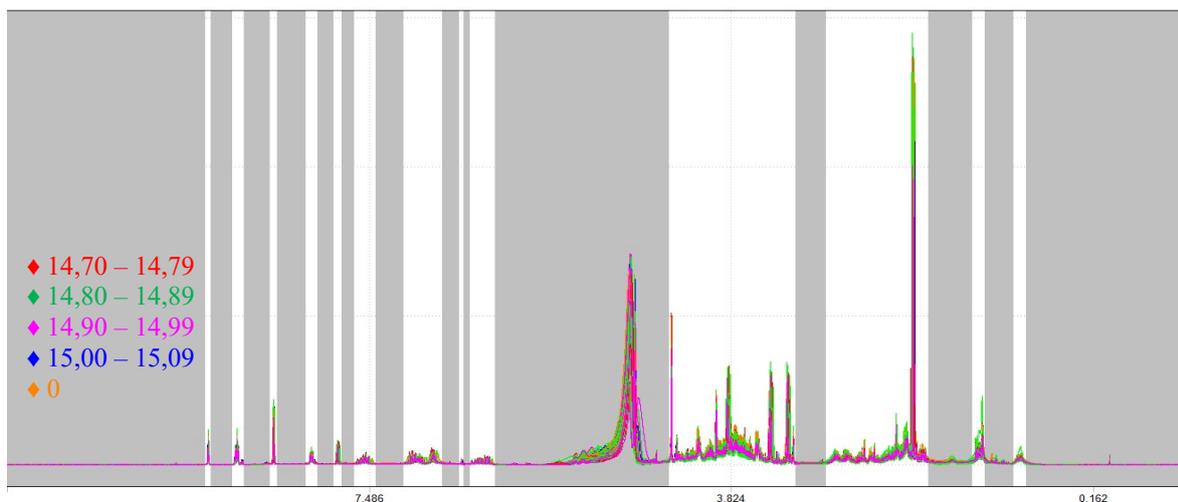


Figura 4.14 – Gráfico de linhas dos espectros de RMN de ^1H das amostras de café analisadas, separadas por classes de latitude, selecionando as regiões excluídas com a cor cinza.

A Figura 4.14 mostra o gráfico de deslocamento químico, obtido através da análise de RMN de ^1H , separando os espectros por classes de latitude, representadas por cores. As análises estatísticas multivariadas foram executadas excluindo-se as faixas espectrais, selecionadas na cor cinza. É possível observar, ainda, na Figura 4.14, um padrão de espectros, com pequena variabilidade entre amostras, o que indica grande similaridade entre objetos de análise.

Teixeira, Levy e Carvalho (1984) afirmaram que o café colhido no estágio de maturação verde apresentou aspecto e torração de pior qualidade, quando comparado aos colhidos maduros. A adição de apenas 2% de grãos verdes, em um lote de café classificado como “bebida mole”, tornou-o bebida “apenas mole”, o que significa queda na escala de classificação oficial pela bebida. Quando essa adição foi de 10%, o lote de bebida “mole” passou para bebida “dura”, caracterizada por sabor adstringente. Barbosa (1964) relata que alguns grãos ardidos são suficientes para prejudicar o sabor de 50g do mais suave café, verificando que, quando adicionado ao café de bebida mole, em proporções superiores a 15%, provocaram queda na qualidade da bebida.

Partindo desse pressuposto, buscou-se avaliar o comportamento dos cafés de amostras com seleção prévia dos grãos e não selecionados, em que são retirados os grãos com defeito e que podem depreciar a qualidade da bebida. Foi feita uma análise por PCA que resultou num gráfico inconclusivo (figura 4.15), no qual todas essas amostras apresentam diferenças características em suas composições.

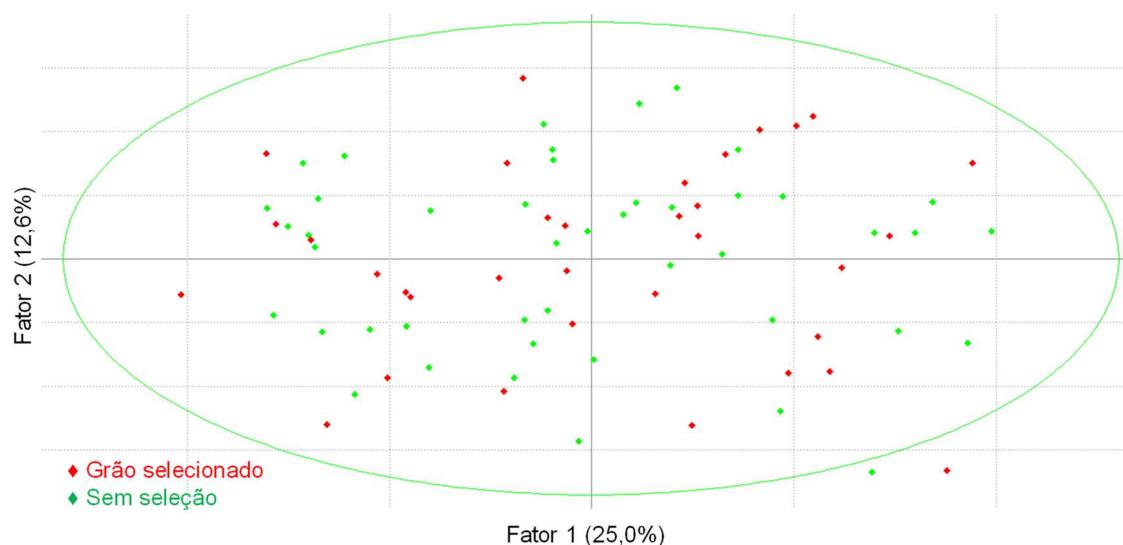


Figura 4.15 – Resultado da análise exploratória por PCA, com explicação de 37,6%, gráfico de dispersão obtido utilizando como classe 1 os cafés com seleção de grãos e classe 2 os cafés sem seleção de grãos, não sendo possível verificar a separação dos dois grupos.

4.4 CONCLUSÕES

O método de análise por RMN foi eficaz na obtenção dos espectros, sendo possível obter um padrão de deslocamentos espectrais para os cafés do município de Barra do Choça, dada a quantidade de repetições, demonstrando, assim, possibilidade para ser empregada na autenticação de origem.

Não houve variabilidade espacial da qualidade e comportamento químico dos cafés analisados. No entanto, foi possível observar maiores deslocamentos dos ácidos clorogênicos e trigonelinas nos cafés de melhor qualidade.

4.5 REFERÊNCIAS

Akiyama, M., Murakami, K., Hirano, Y., Ikeda, M., Iwatsuki, K., Wada, A., Tokuno, K., Onishi, M., Iwabuchi, H., 2008. Caracterização de compostos sensoriais de cafés arábica recém passados e estudos sobre os compostos do aroma característico do café etíope. **Journal Food Science**. 73, C335–C346. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00752.x>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa n. 16, de 24 de maio de 2010. Aprova o Regulamento Técnico para o Café Torrado em Grão e Café Torrado e Moído. Brasília, 2010. Acesso em: 14 fev. 2023.

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 diferente sensory characteristics. **Food Chemistry**, v.273, p. 178-185, 1 fev. 2019.

Brescia, M.; Monfreda, M.; et al. Characterization of the geographical origin of buffalo milk and mozzarella cheese by means of analytical and spectroscopic determinations. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 139–147, 2005.

De Toledo, P.R.A.B.; De Melo, M.M.R.; Pezza, H.R. ; Toci, A.T.; Pezza, L.; Silva, C.M. . Análise discriminante para desvendar a origem de amostras de café torrado: uma ferramenta para controle de qualidade de produtos derivados do café. **Food Control**, v. 73, p. 164-174, 2017.

MA, Jiayi; Li, Jinping; He, Hong; Jin, Xiaoling; Cesarino, Igor; Zeng, Wei; Li, Zheng. Caracterização das propriedades sensoriais do café Yunnan. **Current Research in Food Science**. 2022; 5: 1205–1215. doi: 10.1016/j.crfs.2022.07.010

Pavia, D.L.; Lampman, G.M.; Kriz, G.S.; Vyvyan, J.R. Introdução à Espectroscopia. Tradução da 4ª edição norte-americana. **Cengage Learning**, 2010.

Ribeiro, M.V.M.; Boralle, N.; Pezza, H.R.; Pezza, L.; Toci, A.T. Autenticidade de café torrado usando espectroscopia de RMN 1H. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 57, p. 24-30, 2017.

Salva, T. J. G.; Silvarolla, M. B.; Zago, C. M. C.; Barboza, F. R.; Coelho, D. S. Sacarose e cafeína em grãos de café de cruzamentos entre as variedades mutante AC1 e mundo novo. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 9., 2015, Curitiba. Anais... [Curitiba]: Consórcio Pesquisa Café, 2015.

Santos, H.D; Alvarenga, Y.A; Boffo, E.F. 1H NMR metabolic fingerprinting of Chapada Diamantina/Bahia (Brazil) coffees as a tool to assessing their qualities. **Microchemical Journal**, v. 152, p. 104293, 2019.

Tavares, L. A.; Ferreira, A. G. Análises quali e quantitativa de cafés comerciais via ressonância magnética nuclear. **Química Nova**. v. 29, p. 911-915, 2006.

Tavares, L. A. Utilização de métodos quimiométricos aliados a RMN na caracterização dos diferentes tipos de cafés comerciais. 2008. 169f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos. São Carlos: UFSCar, 2008.

Tolessa, K; Rademaker, M.; De Baets, B.; Boeckx, P. Prediction of specialty coffee cup quality based on near infrared spectra of green coffee beans. **Talanta**, v.150, p.367-374, 2016.

Toci, A.T.; De Moura Ribeiro, M.V.; De Toledo, P.R.A.B.; Boralle, N.; Pezza, H.R.; Pezza, L. Fingerprint and authenticity roasted coffees by 1H-NMR: the Brazilian coffee case. **Food Science and Biotechnology**, v. 27, p. 19-26, 2018.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No artigo I, dada a ocorrência de cafés de qualidade em diversas regiões do município de Barra do Choça e dispersão espacial anacrônica da qualidade, bem como a quantidade reduzida de informações dos parâmetros qualitativos sensoriais, não foi possível agrupar as amostras por similaridade. Além disso, a inexistência de estação meteorológica no município e a dificuldade para se obter imagens espectrais mensais do satélite Sentinel 2A constituíram fatores limitantes cruciais para o desenvolvimento da pesquisa em questão.

Para tanto, foi proposta a utilização de dados médios dos índices espectrais de EVI, PSRI, PSI e PRI, no período de 01/09/2020 a 31/08/2022. Sendo assim, não foi possível inferir, com grau de certeza significativo, a respeito da influência das variáveis ambientais sobre a qualidade sensorial dos cafés do município de Barra do Choça – BA.

No entanto, cabe, em pesquisas posteriores, analisar a influência do estresse hídrico sobre a qualidade sensorial e caracterização do comportamento fenológico do café arábica em Barra do Choça.

No artigo II, ficou evidente que a utilização da espectroscopia de RMN de ^1H , em cafés torrados, apresentou-se como um método simples e eficaz para realização de análises químicas e impressão digital de produtos vegetais, quando aplicado com alta repetibilidade. Todavia, a análise multivariada não foi capaz de distinguir amostras de áreas muito próximas homogêneas, além disso, possui alto custo e dados complexos.

Logo, os cafés não foram claramente diferenciados nos espectros de RMN ^1H , mesmo considerando a variabilidade de cultivares e diferentes beneficiamentos (despolpa, fermentação e outros). Entretanto, pode se mostrar resolutivo na delimitação do *terroir*.