



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**SELEÇÃO DE CLONES DE CAFÉ CONILON SOB SISTEMA  
IRRIGADO EM ALTITUDE NO CERRADO**

**FELIPE AUGUSTO ALVES BRIGE**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**BRASÍLIA/DF**  
**JULHO/2023**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**SELEÇÃO DE CLONES DE CAFÉ CONILON SOB SISTEMA  
IRRIGADO EM ALTITUDE NO CERRADO**

**FELIPE AUGUSTO ALVES BRIGE**

**ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELO FAGIOLI**  
**COORIENTADOR: PESQ. DR. RENATO AMABILE**

**TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA**

**PUBLICAÇÃO: 000/2023**

**BRASÍLIA/DF**  
**JULHO/2023**



**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB  
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA – FAV  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – PPGA**

**SELEÇÃO DE CLONES DE CAFÉ CONILON SOB SISTEMA  
IRRIGADO EM ALTITUDE NO CERRADO**

**FELIPE AUGUSTO ALVES BRIGE**

**Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-graduação em Agronomia,  
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Doutor em  
Agronomia.**

**APROVADA POR:**

---

Marcelo Fagioli, Eng. Agrônomo Dr., Universidade de Brasília-UnB  
Presidente – Orientador – [mfagioli@unb.br](mailto:mfagioli@unb.br)

---

Nicolau Brito da Cunha, Eng. Agrônomo Dr., Universidade de Brasília-UnB  
Examinador interno – [nicolau.cunha@unb.br](mailto:nicolau.cunha@unb.br)

---

Sonia Maria Costa Celestino, Eng. Química Dra., Embrapa Cerrados  
Examinadora externa – [sonia.celestino@embrapa.br](mailto:sonia.celestino@embrapa.br)

---

Adriano Delly Veiga, Eng. Agrônomo Dr., Embrapa Cerrados  
Examinador externo – [adriano.veiga@embrapa.br](mailto:adriano.veiga@embrapa.br)

---

José Ricardo Peixoto, Eng. Agrônomo Dr., Universidade de Brasília-UnB  
Examinador interno – [peixoto@unb.br](mailto:peixoto@unb.br)

**Brasília/DF, 27 de julho de 2023.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

---

BB854s Brige, Felipe Augusto Alves

SELEÇÃO DE CLONES DE CAFÉ CONILON SOB SISTEMA IRRIGADO EM ALTITUDE NO CERRADO / Felipe Augusto Alves Brige; orientador Marcelo Fagioli; co-orientador Renato Amabile. -- Brasília, 2023.

79 p.

Tese (Doutorado em Agronomia) -- Universidade de Brasília, 2023.

1. *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. 2. Diversidade genética. 3. Parâmetros genéticos. 4. Melhoramento vegetal. I. Fagioli, Marcelo, orient. II. Amabile, Renato, co-orient. III. Título.

---

Catlogação na fonte:

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

BRIGE, F. A. A. **Seleção de clones de café conilon sob sistema irrigado em altitude no Cerrado**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 79 f. Tese de Doutorado.

## CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Felipe Augusto Alves Brige

TÍTULO DA TESE DE DOUTORADO: Seleção de clones de café conilon sob sistema irrigado em altitude no Cerrado.

GRAU: Doutor

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado para única e exclusivamente propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais, de publicação. Nenhuma parte desta tese de doutorado pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.

---

### Felipe Augusto Alves Brige

CPF: 015.610.101-70

SQN 409 B 101, Asa Norte

Brasília/DF - Brasil

CEP: 70.857-020

Tel.: +55 61 98401-3712

[felipebrige@gmail.com](mailto:felipebrige@gmail.com)

Ao Raul,  
Ao meu avô Almiro,  
À minha avó Raimunda,  
Aos mais de 700 mil brasileiros que sucumbiram à pandemia,  
Ao meu pai Robson, sobrevivente da pandemia,  
dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos profissionais de saúde que se dedicaram ao atendimento aos pacientes acometidos pela COVID 19.

A toda a classe artística que com suas criações nos deram condições mínimas para suportar o confinamento. A Arte nutre!

Aos idealizadores e fundadores da Universidade de Brasília, Anísio Teixeira e Darcy Ribeiro e à própria Universidade de Brasília.

Aos meus pais Cleusa e Robson, meu irmão Fred e sua família Taísa, Arthur, Davi e Bella, pelo amor, pelo exemplo e por acreditarem em mim.

À Bruna pelo apoio no ingresso dessa jornada.

À Luiza, minha companheira, pelo amor, suporte, companheirismo e incentivo constante para a conclusão da minha saga.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – FAV, seu corpo docente e colaboradores.

Ao Professor Dr. Marcelo Fagioli pela orientação e pela paciência durante a trajetória dessa tese.

Ao Dr. Renato Amabile, meu grande amigo, incentivador e apoiador na minha jornada acadêmica, científica e profissional.

Ao Dr. Adriano Veiga, Dra Sonia Celestino, Francisco Delvico e Me. Juaci Malaquias pelo apoio e orientação nas etapas de tomada de dados de campo, procedimentos nos laboratórios e na análise dos dados!

E, finalmente, AO CAFÉ por agregar toda essa gente em torno dele! Sem você seria um pouco mais difícil!

A todos vocês,

Os meus sinceros agradecimentos.



## SUMÁRIO

<b>RESUMO .....</b>	<b>1</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>3</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
2.1. Objetivo geral.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1. Breve caracterização do Cerrado brasileiro.....</b>	<b>7</b>
3.2. Breve histórico do café no Brasil.....	8
3.3. Aspectos botânicos, origem e dispersão geográfica do café canéfora.....	9
3.4. Diversidade genética do café conilon.....	11
3.5. Importância econômica do café conilon.....	12
3.6. Composição química dos grãos de café.....	13
<b>3.7. Parâmetros genéticos.....</b>	<b>14</b>
<b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>16</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>26</b>
<b>PARÂMETROS GENÉTICOS DE CAFÉ CONILON EM SISTEMEMA IRRIGADO NO CERRADO.....</b>	<b>26</b>
RESUMO .....	27
ABSTRACT.....	28
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>30</b>
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
<b>4. CONCLUSÕES.....</b>	<b>41</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>41</b>
ANEXO I .....	43
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>44</b>
<b>PARÂMETROS GENÉTICOS BASEADO EM COMPONENTES BIOQUÍMICOS DOS GRÃOS DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO .....</b>	<b>44</b>
RESUMO .....	45

ABSTRACT.....	46
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>47</b>
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	48
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
4. CONCLUSÕES.....	57
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
<b>ANEXO II.....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXO III.....</b>	<b>61</b>
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>62</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E QUALIDADE QUÍMICA DE CLONES DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO .....</b>	<b>62</b>
RESUMO.....	63
ABSTRACT.....	64
1. INTRODUÇÃO.....	65
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	66
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4. CONCLUSÕES.....	75
5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	76
<b>ANEXO IV.....</b>	<b>79</b>

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Grupos genéticos de *Coffea canephora* e sua origem geográfica, estabelecido por Cubry (2008) e correspondências com trabalhos anteriores. Fonte: Montagnon et al. (2012), com adaptações. .... 12
- Tabela 2.** Esquema da análise de variância conjunta de um modelo de delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com interação de primeira ordem, com as esperanças dos quadrados médios e teste F para as fontes de variação, considerando efeitos fixos dos genótipos, efeitos aleatórios dos anos e interação genótipo x ano. .... 32
- Tabela 3.** Resumo da análise de variância em esquema de parcelas subdivididas no tempo e estimativa de parâmetros genéticos de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), altura de plantas (ALTURA), número de nós nos produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNPRP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNVRP) avaliados nos anos safra de 2019/20 e 2020/21 em 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado. Planaltina, Distrito Federal, 2023. .... 35
- Tabela 4.** Médias de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), altura de planta, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNPRP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNVRP) avaliados em 35 genótipos de café conilon cultivados em sistema irrigado no Cerrado, em dois anos-safra consecutivos. Planaltina, Distrito Federal, 2023. .... 38
- Tabela 5.** Esquema da análise de variância de um modelo de delineamento inteiramente casualizado com interação de primeira ordem, com as esperanças dos quadrados médios e teste F para as fontes de variação, considerando efeitos fixos dos genótipos, efeitos aleatórios dos anos e interação genótipo x ano. .... 51
- Tabela 6.** Quadrados médios da análise em esquema de parcelas subdivididas, valores de F e estimativa de parâmetros genéticos dos teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina, todos em porcentagem, de grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado. Planaltina, Distrito Federal, 2023. .... 53
- Tabela 7.** Médias dos teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon

cultivados em sistema irrigado no Cerrado, em dois anos consecutivos. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	56
<b>Tabela 8.</b> Estimativas de herdabilidade ( $H^2$ ), ganho de seleção específico (GS), média da população original ( $X_o$ ) e média da população melhorada ( $X_s$ ) para teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema irrigado no Cerrado em 2020 e 2021. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2023. ....	57
<b>Tabela 9.</b> Dados climatológicos da estação meteorológica automática principal da Embrapa Cerrados entre os meses de setembro e agosto de dois anos. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	60
<b>Tabela 10.</b> Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de genótipos de café conilon utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2019/20. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	71
<b>Tabela 11.</b> Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de genótipos de café conilon utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2020/21. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	73
<b>Tabela 12.</b> Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de genótipos de café conilon utilizando dados de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), porcentagem de grãos com peneira maior que 16, porcentagem de grãos moca teores de sacarose, cafeína, trigonelina, ácido cítrico e ácido clorogênico (5-ACQ) no ano safra de 2020/21. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	74
<b>Tabela 13.</b> Agrupamento de 33 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano de 2019/20. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética ( $r$ ) é de 0,58. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	79
<b>Tabela 14.</b> Agrupamento de 35 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2020/21. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética ( $r$ ) é de 0,51. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	79

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Prancha botânica de *Coffea* sp. (Fonte: Wikimedia commons, 2023).....9
- Figura 2.** Posição geográfica dos cinco maiores subgrupos genéticos de *C. canephora* coletados junto com um mapa esquemático de refúgio florestal ao longo da última grande fase árida (c. 18.000 anos AP), adaptado de Maley [2]. Fonte: Gomez et al, 2009..... 11
- Figura 3.** Croqui da disposição de genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado em campo experimental implantados em novembro de 2017. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....31
- Figura 4.** Correlação entre características morfoagronômicas rendimento de café beneficiado (REND), produtividade, altura, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNV) avaliadas em 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado em dois anos consecutivos. (\*, \*\* e \*\*\* correspondem a significância de  $p \leq 0,5$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,001$ , respectivamente). Planaltina, Distrito Federal, 2023..... 40
- Figura 5.** Correlação entre características morfoagronômicas rendimento de café beneficiado (REND), produtividade, altura, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNV) de 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, avaliadas em 2020. Planaltina, Distrito Federal, 2023. (\*, \*\* e \*\*\* correspondem a significância de  $p \leq 0,5$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,001$ , respectivamente) ..... 43
- Figura 6.** Correlação entre características morfoagronômicas rendimento de café beneficiado (REND), produtividade, altura, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNV) de 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, avaliadas em 2021. Planaltina, Distrito Federal, 2023. (\*, \*\* e \*\*\* correspondem a significância de  $p \leq 0,5$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,001$ , respectivamente) ..... 43
- Figura 7.** Espectros de amostras de café cru moído coletados por Espectroscopia do infravermelho próximo – NIRS, por meio da reflectância na faixa espectral compreendida entre 1108 nm e 2492,8 nm programa de espectroscopia ISIScan versão 2.85. ....50

<b>Figura 8.</b> Dados climatológicos da estação meteorológica automática principal da Embrapa Cerrados dos dias 01/09/2019 a 31/08/2020 (a) e dos dias 01/09/2020 a 31/08/2021 (b). Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	60
<b>Figura 9.</b> Correlação entre componentes bioquímicos avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, colhidos em 2020 (a) e em 2021 (b), determinados por meio de espectroscopia do infravermelho próximo. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	61
<b>Figura 10.</b> Correlação entre componentes bioquímicos avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, colhidos em 2020 e 2021 e determinados por meio de espectroscopia do infravermelho próximo. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	61
<b>Figura 11.</b> Croqui da disposição de clones de café conilon em sistema de cultivo irrigado em campo experimental implantados em novembro de 2017. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	67
<b>Figura 12.</b> Análise de agrupamento de 33 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano de 2019/20. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética (r) é de 0,58. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	69
<b>Figura 13.</b> Análise de agrupamento de 35 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2020/21. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética (r) é de 0,51. Planaltina, Distrito Federal, 2023. ....	72

# **CARACTERIZAÇÃO E SELEÇÃO DE CLONES DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA DE CULTIVO IRRIGADO NO CERRADO**

## **RESUMO**

O café canéfora é uma espécie com alta variabilidade genética e adaptabilidade, sendo amplamente cultivada em regiões de baixa altitude e climas mais quentes. A introdução da espécie em regiões de maiores altitudes no Cerrado do Brasil central representa uma oportunidade de inovação e diversificação no setor cafeeiro. Dessa forma, o melhoramento genético do café canéfora adaptado aos sistemas produtivos irrigados no Cerrado e com qualidade pode trazer inovação e benefícios significativos para a indústria cafeeira da região. O objetivo deste trabalho foi caracterizar e estimar parâmetros genéticos da coleção de elite de café conilon da Embrapa Cerrados, cultivados em sistema de produção irrigado. Foram avaliados nos anos agrícolas 2019/20 e 2020/21, 43 genótipos em relação às características morfoagronômicas produtividade, altura de planta, número de nós nos ramos plagiotrópicos, número de ramos plagiotrópicos, comprimento dos internódios nos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos, proporção de grãos do tipo moca e proporção de grãos retidos em peneira 16, e aos teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina contidos nos grãos crus. A coleção foi implantada em novembro de 2017, havendo genótipos representados por apenas 1 planta (por ocasião de morte de plantas) e outros representados por até 10 plantas (clones) agrupadas no campo, sem delineamento. Cada planta representa uma repetição do genótipo. Portanto, não foi possível obter três medidas para todos os genótipos para as análises de variância univariadas. Alguns genótipos não produziram nos dois anos consecutivos, o que impossibilitou a análise dos parâmetros bioquímicos. Dessa forma, o trabalho foi dividido em três capítulos sendo que no primeiro capítulo foi feita uma análise de variância em esquema de parcelas subdivididas no tempo para as características morfoagronômicas de 35 genótipos. No segundo capítulo foi realizada uma análise de variância utilizando os teores de compostos bioquímicos contidos nos grãos crus para 18 genótipos no mesmo esquema de parcelas subdivididas. Nos dois capítulos, o genótipo foi considerado como efeito de parcela e ano como subparcela. No intuito de se avaliar todos os genótipos em conjunto, mesmo aqueles representados por apenas

uma planta, foi realizada, no terceiro capítulo, a análise multivariada de cluster para cada ano-safra utilizando todas as características avaliadas. Com a formação dos clusters, estes foram utilizados como uma fonte de variação para a análise univariada não paramétrica de Kruskal-Wallis. Foi observado efeito significativo de ano para todas as características morfoagronômicas e bioquímicas. Foi observado efeito significativo de genótipo para altura, teor de cafeína, sacarose e trigonelina. E houve interação genótipo x ano significativa para todas as características morfoagronômicas e para os teores de 5-ACQ, cafeína e sacarose. A partir da análise de cluster, para o ano 2019/20 foram obtidos 5 grupos que diferiram entre si para todas as características avaliadas, exceto 5-ACQ. Para o ano-safra 2020/21, foram obtidos 6 grupos que diferiram significativamente entre si para todas as características. A estimativa dos parâmetros genéticos nas populações estudadas permite inferir que há condições favoráveis para seleção de genótipos baseada na altura e nos teores de cafeína, com ganho de seleção. Há uma variação dentro do grupo no que se refere às características avaliadas nos dois anos, muito provavelmente em função da variação ambiental. Os genótipos L3.L16.P6 (22) e L4.L25.P123 (31), em dois anos seguidos, figuram dentro dos dois grupos que se sobressaíram em relação à maioria das características morfoagronômica e de qualidade avaliadas, mostrando serem materiais promissores dentro do programa de melhoramento genético de café conilon irrigado no Cerrado.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, diversidade genética, parâmetros genéticos, melhoramento vegetal.

# CHARACTERIZATION AND SELECTION OF CONILON COFFEE CLONES IN AN IRRIGATED CROPPING SYSTEM IN THE CERRADO

## ABSTRACT

*Coffea canephora* is a species with high genetic variability and adaptability, widely cultivated in regions of low altitude and warmer climates. The introduction of this species to higher altitude regions in the central Brazilian Cerrado represents an opportunity for innovation and diversification in the coffee industry. Thus, genetic improvement of irrigated canephora coffee adapted to the Cerrado region, while maintaining quality, can bring significant benefits and innovation to the coffee industry in the region. The objective of this study was to characterize and estimate the genetic parameters of the elite collection of Conilon coffee from Embrapa Cerrados, cultivated under irrigated production systems. In the crop years 2019/20 and 2020/21, 43 genotypes were evaluated for morpho-agronomic characteristics such as productivity, plant height, number of nodes in plagiotropic branches, number of plagiotropic branches, length of internodes in orthotropic and plagiotropic branches, proportion of moka-type beans, and proportion of beans retained on sieve 16. Additionally, the levels of chlorogenic acid (5-CQA), caffeine, sucrose, citric acid, and trigonelline in the raw beans were assessed. The collection was established in November 2017, with each genotype represented by 1 (due to plant death) to 10 plants (clones) grouped in the field without a specific design. Each plant served as a replication of the genotype. Therefore, it was not possible to obtain three measurements for all genotypes for the univariate analysis of variance. Some genotypes did not produce in consecutive years, which prevented the analysis of biochemical parameters. In the first chapter, a joint analysis of variance was conducted using a split-plot design for the morpho-agronomic traits of 35 genotypes, and in second chapter a analysis of variance was performed for the biochemical compounds in 18 genotypes using the same split-plot design. In both cases, the genotype was considered as the main plot effect and the year as the subplot effect. To evaluate all genotypes together, even those represented by only one plant, a multivariate cluster analysis was conducted for each crop year using all the evaluated characteristics, in the third chapter. The formed clusters were then used as a source of variation for the non-parametric univariate Kruskal-Wallis analysis. Significant year

effects were observed for all morpho-agronomic and biochemical characteristics. Genotype effects were significant for plant height, caffeine content, sucrose content, and trigonelline content. Furthermore, there was a significant genotype x year interaction for all morpho-agronomic characteristics and for the levels of 5-CQA, caffeine, and sucrose. Based on the cluster analysis, five distinct groups were identified for the 2019/20 crop year, differing significantly in most evaluated characteristics except 5-CQA. For the 2020/21 crop year, six distinct groups were identified, showing significant differences among them for all evaluated characteristics. The estimation of genetic parameters in the studied populations suggests favorable conditions for the selection of genotypes based on plant height and caffeine levels, leading to selection gains. There was a group variation in the evaluated characteristics between the two years, likely due to environmental variation. Genotypes L3.L16.P6 (22) and L4.L25.P123 (31) consistently stood out in both years, showing superior performance in several morpho-agronomic and quality characteristics. These genotypes demonstrate promise within the genetic improvement program for irrigated Conilon coffee in the Cerrado region.

**Key words:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, genetic diversity, genetic parameters, plant breeding.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café com 50,92 milhões de sacos beneficiados em 2022, e safra estimada em 54,74 milhões para 2023. O país é o segundo maior produtor de café canéfora das variedades robusta e conilon, com 18,2 milhões de sacos de café beneficiado em 2022, e produção de 16,81 milhões estimado para 2023 (CONAB, 2023; USDA, 2023). Contudo, para garantir a competitividade brasileira no mercado global, é essencial que o café brasileiro seja conhecido não só pela quantidade, mas também pela qualidade, garantindo a posição do país como um grande player no mercado internacional.

O Cerrado, uma das principais regiões de produção agrícola do país, reúne condições edafoclimáticas distintas que permite que a cafeicultura da região seja bem desenvolvida, fundamentada no uso de tecnologias avançadas geradas pela pesquisa científica, dentre elas o desenvolvimento de cultivares de cafés adaptados à região, produzindo cafés de excelente qualidade e em quantidade, principalmente em sistemas de cultivo irrigado.

O café produzido no Cerrado porta em si qualidade que o destaca no cenário nacional da agroindústria, porém dentre as espécies de valor econômico expressivo, praticamente apenas o arábica tem sido produzido nesse bioma. A diversificação da produção importante para o contexto da agricultura nacional, pois gera novos produtos e oportunidades. A produção de cafés canéforas é um desafio por ora pouco explorado para o ambiente, e sua adaptação à região pode representar uma oportunidade científico-produtiva.

O café canéfora é uma espécie com alta variabilidade genética e adaptabilidade, sendo amplamente cultivada em regiões de baixa altitude e climas mais quentes. Atualmente é produzido predominantemente nos estados do Espírito Santo, Rondônia e Bahia. A introdução da espécie em regiões de maiores altitudes no Cerrado do Brasil central, uma região com condições edafoclimáticas distintas, representam uma oportunidade de inovação e diversificação no setor cafeeiro.

Dessa forma, o melhoramento genético do café canéfora adaptado aos sistemas produtivos irrigados no Cerrado pode trazer inovação e benefícios significativos para a indústria cafeeira da região. A seleção de genótipos superiores adaptados, com maior produtividade, resistência a doenças e, ao mesmo tempo, com qualidade de bebida superior, pode proporcionar aos produtores de café uma opção

rentável e competitiva, abrindo novas perspectivas e proporcionando uma alternativa viável para os produtores de café arábica que enfrentam desafios decorrentes das mudanças climáticas e de mercado.

Os resultados gerados por este trabalho contribuirão com os programas de melhoramento genético da cultura, possibilitando a obtenção de genótipos que se destaquem pela qualidade e atendam às exigências do sistema produtivo irrigado no Cerrado, oferecendo uma alternativa sustentável e competitiva para os produtores de café e fortalecendo o desenvolvimento econômico e social da região do Cerrado, fixando a posição do Brasil como um dos principais produtores de café de qualidade do mundo.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo geral**

Caracterizar e estimar parâmetros genéticos da coleção de elite de café conilon da Embrapa Cerrados, cultivados em sistema de produção irrigado em altitude para subsidiar a seleção de genótipos superiores.

### **2.2. Objetivos específicos**

Caracterizar os genótipos da coleção de elite de café conilon quanto às características morfoagronômicas e bioquímicas dos grãos;

Estimar parâmetros genéticos da coleção elite de café conilon e indicar genótipos com características superiores para compor futuras variedades clonais e/ou utilização em cruzamentos;

Verificar a existência de variabilidade genética entre os genótipos de café conilon da coleção e identificação de genótipos promissores;

Indicar genótipos com características superiores para compor futuras variedades clonais e/ou utilização em cruzamentos.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Breve caracterização do Cerrado brasileiro

O Cerrado, em seu sentido fisionômico mais difundido – *stricto sensu* –, que representa a maior parte da área de Cerrado do Brasil, é uma típica Savana – uma formação tropical com domínio de gramíneas, contendo uma proporção de vegetação lenhosa aberta e árvores associadas (WALTER, 2006).

Em seu sentido amplo, é o segundo maior bioma do Brasil, atrás apenas da Amazônia. Sua extensão é de aproximadamente 204 milhões de hectares e ocupa 24% do território nacional. O Cerrado abrange os estados da Bahia, Ceará, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Rondônia e Tocantins e o Distrito Federal (EMBRAPA, 2011).

Em relação ao clima, a temperatura média anual fica em torno de 22°C a 23°C; as temperaturas do ar máximas absolutas mensais não variam muito ao longo dos meses do ano, mas podem chegar a mais de 40°C; e as temperaturas do ar mínimas absolutas mensais variam bastante, atingindo valores próximos ou até abaixo de zero nos meses de maio, junho e julho, sendo observada a ocorrência de geadas em áreas de maior altitude. A precipitação média anual fica entre 1200 mm e 1800 mm. A irregularidade na distribuição das chuvas é um dos fatores determinantes para a produção agrícola neste ambiente. A precipitação média mensal apresenta uma grande estacionalidade, concentrando-se nos meses de primavera e verão (outubro a março), que é a estação chuvosa definida, quando podem ocorrer curtos períodos de seca, denominados de veranicos. A estação seca apresenta de 3 a 5 meses de duração, quando a umidade relativa do ar pode chegar a 15% (ADÂMOLI et al., 1987; SETTE, 2004).

Entre as diversas classes de solo existentes no Cerrado, os Latossolos são os mais predominantes, representando 46% das classes de solos existentes no Cerrado, sendo os mais comuns nas áreas que utilizam sistemas agrícolas irrigados, ocupando amplos chapadões e áreas de topografia suave. No Cerrado também ocorrem os Cambissolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Flúvicos e Hidromórficos (MACEDO, 1996; RESENDE et. al., 2002). Segundo Goedert (1985) desde a década de 1960 a potencialidade agrícola dos Cerrados já era discutida, destacando-se a necessidade de uma agricultura de grandes investimentos, tanto na melhoria da fertilidade de seus solos como em pesquisa.

### 3.2. Breve histórico do café no Brasil

O café chegou ao Brasil pelo estado do Maranhão e Grão-Pará, contrabandeado, em 1727, pelas mãos do sargento-mor Francisco de Melo Palheta, que fora a Caiena, capital da Guiana Francesa, a pedido do governador do Pará, sob o pretexto de discutir relações fronteiriças. O governador Claude d'Orvilliers tinha ordens expressas de Paris para não ceder uma muda ou semente sequer do café plantado no território. Café este, oriundo de sementes de exemplares do "Jardim das Plantas" de Paris, presentes de Amsterdam (LABOURIAU, 1990). No entanto, Palheta mantivera um romance com Madame d'Orvilliers, e fora presenteado com um ramalhete de flores e mudas, onde repousavam escondidas algumas sementes de café. O cultivo da planta se espalhou pelo Brasil e, em um curto espaço de tempo, o café passou de uma posição relativamente secundária para a de produto base da economia brasileira, tendo como berço das grandes plantações, o Vale do Rio Paraíba (TAUNAY, 1945; GRIEG, 2000; SOARES; VIEIRA FILHO, 2008).

Tradicionalmente, a produção de café no Brasil e no mundo era pautada na espécie *Coffea arabica* L até que, ao final do século XIX, um grande surto de ferrugem afetou os cafezais do sul e leste da Ásia. Isso estimulou o cultivo de *Coffea canephora*, pois a espécie revelou-se resistente à doença e passou então a ser alvo de estudos científicos visando sua exploração econômica (VAN DER VOSSSEN, 1985). Segundo revisão realizada por Ferrão et al., 2017, o primeiro cultivo comercial de *C. canephora* ocorreu por volta de 1870, no Congo, por meio de sementes coletadas de plantas silvestres às margens do rio Lomami, afluente do rio Congo.

Os primeiros cafeeiros introduzidos no Brasil foram os do tipo Kouillou (Conilon, no Brasil), trazidos de Guiné, Uganda e Angola, em 1912. Desde então a espécie vem sendo bem explorada no Espírito Santo, Rondônia e Bahia, sendo que começou a ter expressão comercial a partir dos anos 60, devido à expansão do seu cultivo em áreas consideradas marginais para *C. arabica*. (FAZUOLI et al., 2001; EIRA et al., 2005). Atualmente, cafeeiros da variedade Robusta vêm se mostrando muito produtivos nos estados de São Paulo, Mato Grosso e Rondônia (VENEZIANO; FAZUOLI, 2000; VENEZIANO et al., 2003).

### 3.3. Aspectos botânicos, origem e dispersão geográfica do café canéfora

O cafeeiro (*Coffea* spp.) (Figura 1), família Rubiaceae, tem sua origem em diversas regiões tropicais e subtropicais do continente africano, Madagascar e ilhas próximas, no Oceano Índico. (CARVALHO, 1946; RENA et al., 1994).



**Figura 1:** Prancha botânica de *Coffea* sp. (Fonte: Wikimedia commons, 2023).

O gênero reúne um agrupamento complexo de espécies. Segundo Fazuoli (2004) as classificações mais recentes agrupam os cafeeiros nos gêneros *Coffea* e *Psilanthus*. O gênero *Psilanthus* por sua vez é dividido nos subgêneros *Psilanthus* e *AfroCoffea*, e o gênero *Coffea* compreende os subgêneros: *Coffea* e *BaraCoffea*. Enquanto o subgênero *BaraCoffea* é representado por sete espécies, o subgênero *Coffea* abriga 80 espécies sendo aproximadamente 25 oriundas da África Continental e 55 de Madagascar, dentre elas a espécie *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. Tais espécies, embora não apresentem expressão comercial, são importantes para o melhoramento genético, pois se constituem em reservas gênicas de resistência a

pragas, doenças e condições adversas de ambiente (MEDINA FILHO et al., 1984; CARVALHO; FAZUOLI, 1993)

*Coffea canephora* foi descrita, em 1895, pelo botânico francês Jean Baptiste Louis Pierre e classificada pelo botânico alemão Albrecht Froehner, em 1897, durante uma revisão sobre o gênero *Coffea* (FERRÃO et al., 2017). Originária de florestas tropicais úmidas de baixas altitudes e temperatura média anual elevada, esta espécie possui ampla distribuição geográfica e encontra-se distribuída nas regiões ocidental, central-tropical e subtropical do continente africano, desde o nível do mar até altitudes de 1.300 m, mostrando sua alta capacidade de adaptação (CARVALHO, 1946; CHEVALIER, 1947; CHARRIER e BERTHAUD, 1985; COSTE, 1992; MONTAGNON et al., 1998).

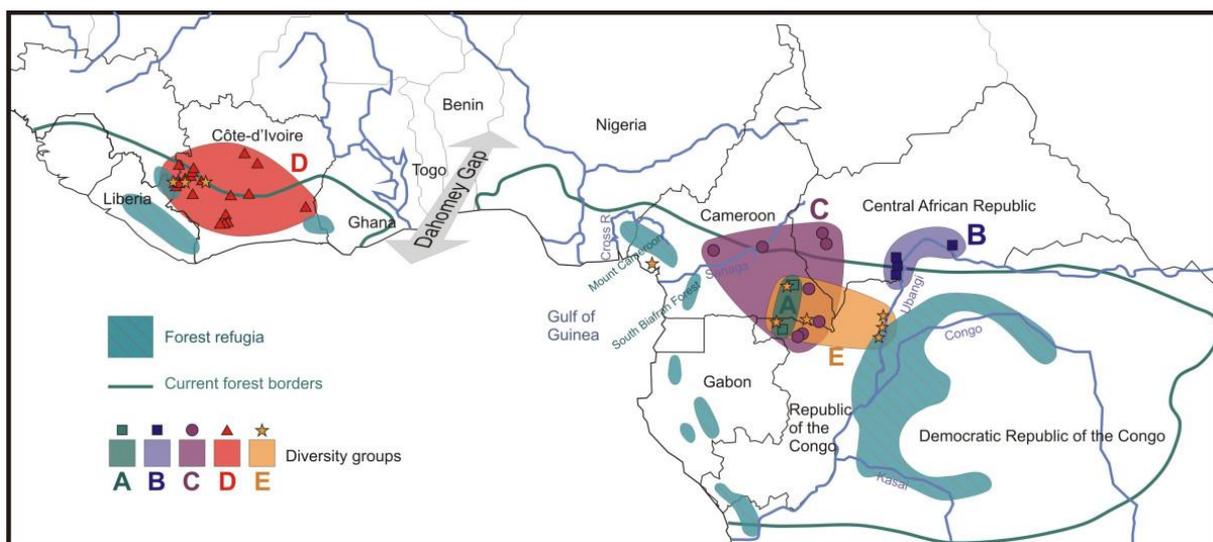
Os cafés canéforas são caracterizados por serem plantas perenes, de porte arbustivo, multicaules lenhosos podendo atingir 5 m de altura em condições de clima quente e úmido. As folhas são elípticas, lanceoladas, com bordas bem onduladas e nervuras bem salientes. As flores são brancas, em grande número por inflorescência e por axila foliar. Os frutos nascem em quantidade de 30 a 60 por verticilo foliar, apresentam formato e número variável segundo o material genético, são de superfície lisa, com exocarpo fino, mesocarpo aquoso, endocarpo delgado e espermoderma bem aderente (CARVALHO, 1946; FAZUOLI, 1986).

*C. canephora* é conhecida genericamente como robusta ou café robusta, termo que engloba uma ampla variedade de cafés da espécie como Conilon ou Kouillou, Robusta, Sankuru, Bukaba, Laurentti, entre outras (CHARRIER; BERTHAUD, 1988; NASCIMENTO et al., 2007). Trata-se de uma espécie alógama, diploide com  $2n = 22$  cromossomos, que compõe populações com grande variabilidade, sendo sua polinização proporcionada preferencialmente pelo vento, e realizada por insetos em menor intensidade, e na qual a fecundação cruzada ocorre entre indivíduos geneticamente não relacionados. Assim como as demais espécies diploides estudadas do gênero *Coffea*, são autoincompatíveis. A autoincompatibilidade em *C. canephora* está associada a um único *locus* S, possuidor de uma série alélica que interage em um sistema gametofítico, controlando o crescimento do tubo polínico. Quando o fator S tanto do pólen quanto do estilo são iguais, não há compatibilidade, e o tubo polínico não penetra no ovário, não ocorrendo a fertilização. (CONAGIN; MENDES, 1961; BERTHAUD, 1980; LASHERMES et al., 1996).

### 3.4. Diversidade genética do café conilon

Estudos de divergência genética são de grande importância para o conhecimento da variabilidade genética das populações e, também, por possibilitar o monitoramento dos bancos de germoplasma, pois geram informações úteis para preservação e o uso de acessos (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Com esse objetivo, Berthaud (1986), fundamentado em resultados de análises utilizando marcadores enzimáticos e diferenças entre as regiões de ocorrência da espécie *Coffea canephora*, postulou uma divisão dos indivíduos em dois grupos de materiais genéticos distintos. O grupo chamado Congolense tem origem na África Central, que abrange países como a República Centro Africana, Congo e Camarões, e inclui o café conhecido como robusta; e o grupo Guineano, que tem origem no oeste da África, em países como Guiné e Costa do Marfim (Figura 2).



**Figura 2.** Posição geográfica dos cinco maiores subgrupos genéticos de *C. canephora* coletados junto com um mapa esquemático de refúgio florestal ao longo da última grande fase árida (c. 18.000 anos AP), adaptado de Maley [2]. Fonte: Gomez et al, 2009.

No último grupo, está o café do tipo Kouillou, variedade conilon, no Brasil. As plantas do grupo Congolense apresentam-se com hábito de crescimento ereto, porte elevado, com 4 a 5 m de altura, caules de maior diâmetro e maior número (multicaule) e pouco ramificado, folhas e frutos de maior tamanho, maturação tardia, maior vigor, maior produtividade e maior tolerância a doenças. Já as do grupo Guineano

apresentam-se como arbustos, com caules bem ramificados, folhas alongadas, florescimento precoce, resistência à seca e maior suscetibilidade a doenças. Entretanto, Ferrão et al. (2017) ressalta que a diferenciação entre esses grupos nas coleções não é fácil, pois a forma natural de reprodução da espécie leva a alta heterozigose nos indivíduos da população, sendo comum referir-se às plantas de café como Robusta ou Conilon, sem distinção.

Na revisão feita por Ferrão et al. (2017), diversos autores subdividiram os grupos Guineano e Congolense com o uso de isoenzimas (Montagnon et al., 1992), marcadores RFLP (Dussert et al., 1999) e posteriormente, Cubry (2008), trabalhando com microssatélites sendo que o último, desde então, vem estudando populações selvagens de Angola, e de outro subgrupo (Ug), dentro dos Congolenses, oriundos de Uganda (Tabela 1).

**Tabela 1.** Grupos genéticos de *Coffea canephora* e sua origem geográfica, estabelecido por Cubry (2008) e correspondências com trabalhos anteriores. Fonte: Montagnon et al. (2012), com adaptações.

Berthaud, 1986	Montagnon et al., 1992	Dussert et al., 1999	Cubry, 2008	Origem geográfica
Guineano	Guineano	D	Guineano	Guiné e Costa do Marfim
Congolense	SG1	A	SG1	Costa atlântica da África Central
	SG2	E B	SG2	Bacia do Rio Congo, sul da África Central
	-	C	C	Sudoeste da África Central, República Democrática do Congo e Camarões
-	-	-	Ug <sup>3</sup>	Uganda

### 3.5. Importância econômica do café conilon

De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos da América, *United States Department of Agriculture* (USDA), de 1960 a 2015, devido à grande elevação do consumo mundial, a produção mundial de *C. canephora* cresceu de 12,6 para 67,0 milhões de sacos de 60 quilos, o que significa um aumento de 531,7%. A participação do *C. canephora* na produção total mundial aumentou consideravelmente

a partir da safra 1996/97, devido à ascensão do Vietnã como maior produtor mundial da espécie e segundo maior produtor mundial de café.

A produção mundial de café, ainda de acordo com o mesmo departamento, em 2021/22, foi de em 165,379 milhões de sacos de 60 quilos de café beneficiado, destes, 78,53 milhões de sacos provindos de variedades da espécie *C. canephora*, genericamente conhecido como café robusta, cerca de 47,5% de participação. Para o ano 2022/23, a estimativa é de 170,019 milhões de sacos de 60 quilos de café beneficiado, sendo 47% de cafés canéforas, o equivalente a 79,916 milhões de sacos.

A Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) estimou a produção de café no Brasil, em 2022, em 50,9201 milhões de sacos de 60 quilos de café beneficiado, destes, 18,1993 milhões de cafés canéforas, 35,7%, aproximadamente. Para 2023, a estimativa é de produção total de café 54,94 milhões de sacos de 60 quilos, dos quais, 31,87% de café canéfora, ou seja, 16,8137 milhões de sacos.

A área total plantada com a cultura do café, no Brasil, totaliza aproximadamente 2,24 milhões de hectares sendo cerca de 1,84 milhão de hectares de lavouras em produção sendo que destes, 388,95 ha produzem café canéfora (CONAB, 2023).

Esses dados colocam o Brasil em uma posição de destaque no cenário econômico mundial, sendo reconhecido como o maior produtor e exportador de café do mundo. O avanço do café conilon no Brasil se deve, sobretudo, à recuperação da produtividade nos estados do Espírito Santo, Bahia e em Rondônia, bem como ao processo de maior utilização de tecnologias como o plantio de café clonal, e ao maior investimento nas lavouras (ABIC, 2016; CONAB, 2023).

### **3.6. Composição química dos grãos de café**

Os grãos de café possuem diversos compostos químicos, muito importantes para a qualidade do café, pois deles derivam outros compostos durante a torração responsáveis pelo sabor e aroma da bebida. A semente de café pode conter mais de mil desses componentes, tais como carboidratos, lipídeos, compostos nitrogenados, vitaminas, minerais, alcaloides e compostos fenólicos (SPILLER, 1998; FLAMENT, 2001; FRANCA et al., 2005; BORÉM, 2008).

A cafeína é um dos principais componentes das sementes de café, sendo uma das razões para o elevado consumo da bebida (MAZZAFERA; SILVAROLLA, 2010). É um alcaloide do grupo das xantinas, de fórmula química  $C_8H_{10}N_4O_2$ , designado por

1,3,7-trimetilxantina. É inodora, altamente solúvel e contribui para o aroma e sabor da bebida de café com uma nota de amargor (BICCHI, 1995; ASHIHARA; CROZIER, 2001). Ocorre livre no citoplasma das células do endosperma, apresenta alta variabilidade e acentuadas diferenças exibidas pela ação do genótipo sobre a produção deste alcaloide (CHARRIER; BERTHAUD, 1975)

Na produção de café descafeinado, produto principal, a cafeína é um subproduto na indústria do café, mas uma importante matéria prima para a indústria farmacêutica e a indústria de refrigerantes. Aproximadamente 80% da população mundial consome cafeína diariamente, seja na bebida do café, chás, ou em medicamentos e refrigerantes (FELIPE, 2005). Acessos com maiores valores de cafeína podem ser promissores para a extração de cafeína.

A intensidade e a qualidade da acidez da bebida variam predominantemente em função das condições climáticas durante a colheita e secagem, do local de origem, tipo de processamento e estágio de maturação dos frutos (CHAGAS, 1994; LEITE, 1991; GIRANDA, 1998; PIMENTA 1995).

Os açúcares, principalmente a sacarose, juntamente com os ácidos orgânicos e compostos nitrogenados representam os sólidos solúveis que se encontram solubilizados em água e estão intimamente relacionados ao corpo da bebida variando muito dentre as espécies e variedades de café, sendo interessante a utilização de variedades que apresentem maior conteúdo dessa fração, propiciando a obtenção da bebida de boa qualidade. Uma maior quantidade de sacarose, portanto, é desejada tanto pelo ponto de vista do rendimento industrial para café solúvel, quanto pela sua contribuição para o corpo da bebida (SIVETZ, 1963; PINTO, 2001; SEABRA JUNIOR, 2003).

### **3.7. Parâmetros genéticos**

As estimativas de parâmetros genéticos permitem conhecer a estrutura genética de uma população e possibilitam fazer inferências sobre os diferentes efeitos genéticos e ambientais e da interação do genótipo com o ambiente, relativos às características de interesse para o melhoramento. Tais estimativas podem fornecer indícios acerca da variabilidade genética da população e permitem quantificar a precisão e acurácia da avaliação fenotípica, além de fornecer aporte na obtenção de ganhos genéticos. Dessa maneira, a seleção eficiente está pautada tanto na presença

da variação genética como no controle da avaliação experimental no intuito de minimizar os efeitos ambientais na manifestação fenotípica dos caracteres de interesse. (FALCONER; MACKAY, 1996; RESENDE, 2002; SCHUSTER; CRUZ, 2004).

A herdabilidade ou coeficiente de determinação, geralmente designada pelo símbolo  $h^2$ , é um dos parâmetros genéticos mais importantes na avaliação de uma característica, pois permite quantificar o quanto da variação da expressão fenotípica se deve à constituição genética ou à interferência ambiental. A herdabilidade pode ser considerada em seu sentido amplo, que abrange toda variância genotípica, ou em seu sentido estrito, que envolve somente a variância genética aditiva (LUSH, 1940). Seu valor pode variar de 0, quando as diferenças entre os genótipos não ocorrem devido às divergências genéticas, a 1, quando as diferenças fenotípicas ocorrem unicamente por suas diferenças genéticas (ALLARD, 1999). Stansfield (1974) considera valores de herdabilidade acima de 0,5 como altos, valores entre 0,2 e 0,5 são de média intensidade e abaixo de 0,2 são tidos como baixos. Vencovsky (1970) alerta que se deve ter cuidado ao comparar a estimativa de herdabilidade de uma mesma característica, pois seu valor pode variar dentro de uma grande amplitude, o que pode ser atribuído à amostragem, diferenças populacionais e ambientais.

Diversos são os trabalhos acerca da herdabilidade para caracteres em *Coffea arabica* L., porém alguns poucos em relação a *C. canephora*, geralmente de pesquisadores franceses em países africanos com grupos de materiais genéticos distintos do café conilon brasileiro (FERRÃO et al., 2008; MISTRO, 2013). Assim, estimação desses parâmetros em café conilon se mostra de grande importância.

As correlações também são parâmetros genéticos importantes em programas de melhoramento, pois medem o grau de associação entre duas características ou a intensidade da variação conjunta dessas características, podendo ser positivas quando variam no mesmo sentido, ou negativas quando variam em sentidos opostos (STEEL; TORRIE, 1980). Assim, é possível fazer a seleção indireta para um caráter desejado altamente correlacionado, sendo possível obter um progresso mais rápido do que na seleção direta.

A correlação fenotípica é determinada diretamente a partir das medidas de dois caracteres nos indivíduos de uma população. Falconer (1987) associou as correlações a causas ambientais e genéticas, sendo que a última ocorre principalmente por efeito

do pleiotropismo, causado pela interferência de um gene na expressão de mais de uma característica, sendo que na segregação há variação conjunta destas. Contudo, só as causas genéticas envolvem uma associação de natureza herdável, que pode ser útil na orientação dos programas de melhoramento (CRUZ et al., 2004).

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIC – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DO CAFÉ <[www.abic.com.br](http://www.abic.com.br)>  
– Acesso em: 30 abr. 2016.

ADÂMOLI, J.; MACEDO, J.; AZEVEDO, L. G.; NETTO, J. M. Caracterização da região dos Cerrados. In: GOEDERT, W. J. (Ed.). **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: EMBRAPA - CPAC; São Paulo: NOBEL, 1987. p.33-98.

ALLARD, R. W. **Principles of plant breeding**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 254p.

ALVES, R.E. Características das frutas para exportação. In: NETTO, A.G.; ARDITO E.F.G.; GARCIA, E.E.C.G.; BLEINROTH, E.W.; FREIRE, F.C.O.; MENEZES, J.B. **Acerola para exportação: procedimentos de colheita e pós-colheita**. MAARA/SDR - Brasília: EMBRAPA - SPI, 1996. 30p.

ASHIHARA, H.; CROZIER, A. Caffeine: a well known but little mentioned compound in plant science. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v.6, n.9, p.407-413, 2001.

BERTHAUD, J. L'Incompatibilitê chez *Coffea canephora*: méthode de test et déterminisme génétique. **Cofé Cacao Thé**. Nogest-sur-Marne, v.24, n.1, p.167-174. 1980.

BERTHAUD, J. **Les ressources génétiques pour l'améliorations des caféiers africains diploides**. Evaluation de la richesse génétique des populatons sylvestres et de ses mécanismes organisateurs. Conséquences pour l'application. Paris: ORSTOM, 1985. 379p.

BICCHI, C.P. Characterization of green and roasted coffees through the chlorogenic acid fraction by HPLC/UV and principal component analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.43, n.6, p.1549-1555, 1995.

BSCA – BRAZIL SPECIALTY COFFEE ASSOCIATION. O que são cafés especiais. Disponível em: <[www.bsca.com.br](http://www.bsca.com.br)> Acesso em: 20 dez. 2014.

BORÉM, F.M.; SALVA, T. J. G.; SILVA, E. A. A. Anatomia e composição química do fruto e da semente do cafeeiro. In: BORÉM, F.M. (Ed.). **Pós-colheita do café**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2008. v.1, 631 p.

CARVALHO, A. Distribuição geográfica e classificação botânica do gênero *Coffea* com referência especial à espécie arábica. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**: p.174-180, 1946.

CARVALHO, A.; FAZUOLI, L.C. Café. In: FURLANI, A.M.C.; VIEGAS, G.A. (Eds.). **O melhoramento de plantas no Instituto Agrônomo**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1993. p.29-76.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N.; JUSTE, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.449-454, 1994.

CASTLE T.J.; NIELSON, J. **The great coffee book**, Berkeley: Ten Speed Press, 2004. 152 p.

CHAGAS, S. J. R. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. Lavras: UFLA, 1994. 83 f. (**Dissertação - Mestrado** em Ciência dos Alimentos).

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Variation de la teneur en caféine dans le genre *Coffea*. **Café Cacao Thé**, Paris, v.11, n.4, p.251-264, 1975.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Botanical classification of coffee. In: CLIFFORD, M. N.; WILSON, K. C. (Eds.). **Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Herm, Westport, Conn, 1985. p.167-195.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. Principles and methods in coffee plant breeding: *Coffea canephora* Pierre. In: CLARK, R.J.; MACRAE, R. (Eds.). **Coffee agronomy**. London: Elsevier, 1988. p.167-195.

CHEVALIER, A. **Lés caféiers du globe**. Fasc. III, Systématique des caféiers et faux-caféiers : maladies et insectes nuisibles. Paris: P. Chevalier, 1947. 356p.

CLARKE, R. J.; MACRAE, R. **Coffee**: Volume: 1. Chemistry. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1985. 306p.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento Safra Brasileira Café, v. 3 – Safra 2016, n.2 – Segundo Levantamento**, Brasília, p.1-104, 2016. Disponível em: <[www.conab.gov.br](http://www.conab.gov.br)>. Acesso em: 18 jun. 2016.

CONAGIN, C. H. T. M.; MENDES, A. J. T. Pesquisas citológicas e genéticas em três espécies de *Coffea*. Auto-incompatibilidade em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner. **Bragantia**, v.20, n.34, p.787-804, 1961.

CORSINI, M.S.; JORGE, N. Ácidos graxos e aspectos nutricionais. **Nutrição Brasil**, v.5, n.4, p. 226-232, 2006.

COSTE, R. **Coffea**: the plant and the product. London: Macmillan, 1992. 328 p.

CRUZ, C. D. Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas. 1990. 188 f. **(Tese de Doutorado)** - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CRUZ, C.D.; CARNEIRO, P.C.S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: Editora UFV, 2003. 579p.

CUBRY, P. Structuration de la diversité génétique et analyse des patrons de déséquilibre de liaison de l'espèce *Coffea canephora* Pierre ex. Froehner. **(Thèse de doctorat)** Ecologie, Environnement. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2008. Français. 234 f.

DUSSERT, D.; LASHERMES, P.; ANTHONY, F.; MONTAGNON, C.; TROUSLOT, P.; COMBES, M.C.; BERTHAUD, J.; NOIROT, M.; HAMAN, S. Le caféier, *Coffea canephora*. In: HAMON P.; SEGUIN, M.; PERRIER, X.; GLASZMANN, J. C. (Eds.).

**Diversité génétique des plantes tropicales cultivées.** Montpellier: CIRAD, 1999. p.175-194.

EMBRAPA, Agência de Informação. **Bioma Cerrado.** 2011. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: 01 mai. 2016.

EIRA, M. T. S.; REIS, R.; RIBEIRO, F. N. S. Banco de sementes de café em criopreservação: experiência inédita no Brasil. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Londrina: Embrapa Café: Núcleo Genética e Melhoramento do Cafeeiro, p. 3, 2005.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa.** Viçosa: UFV, 1987. 279p.

FALCONER, D. S.; MACKAY, T. F. C. **Introduction to quantitative genetics.** 4 ed. Edinburgh: Longman Group Limited, 1996. 464p.

FAZUOLI, L. C. Genética e melhoramento do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, N.; YAMADA, J. (Eds.). **Cultura do cafeeiro:** fatores que afetam a produtividade do cafeeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p. 87-113.

FAZUOLI, L. C.; BRAGHINI, M. T.; CONCEIÇÃO, A. S.; SILVAROLLA, M. B.; GUERREIRO FILHO, O.; GONÇALVES, W.; MEDINA FILHO, H. P. Avaliação de híbridos de *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2, Vitória – ES. **Anais...** Brasília: DF. EMBRAPA CAFÉ – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, p.1259-1264. 2001.

FELIPE, L. Avaliação do efeito da cafeína no teste vestibular. **Revista Brasileira de Otorrinolaringologia**, Rio de Janeiro, v.71, n.6, p. 758-762, 2005.

FERNANDES, A. L. T.; PARTELLI, F. L.; BONOMO, R.; GOLYNSKI, A. A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, n.2, p. 231-240, 2012.

FERRÃO, R. G.; CRUZ, C. D.; FERREIRA, A.; CECON, P. R.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; CARNEIRO, P. C. S.; SILVA, M. F. Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.1, p.61-69, 2008.

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 canephora*. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. (Eds.). **Café conilon**. Vitória: Incaper, 2017. p. 66-91.

FLAMENT, I. **Coffee flavor chemistry**. Chichester: J. Wiley and Sons, 2001. 424p.

FRANCA, A. S.; OLIVEIRA, L. S.; MENDONÇA, J. C. F.; SILVA, X. A. Physical and chemical attributes of defective crude and roasted coffee beans. **Food Chemistry**, Washington, v. 90, n. 1, p. 89-94, 2005.

GIRANDA, R.N. Aspectos qualitativos de cafés (*Coffea arabica* L.) submetidos a diferentes processos de secagem. Lavras: UFLA, 1998. 83p. (**Dissertação - Mestrado** em Ciência dos Alimentos ).

GOEDERT, W. J. Potencial agrícola dos Cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O POTENCIAL AGRÍCOLA DOS CERRADOS, 1985, Goiânia. **Trabalhos apresentados**. Goiânia: EMGOPA/Campinas: Fundação Cargill, 1985. p.1-2.

GOMEZ, C., DUSSERT, S., HAMON, P., HAMON, S., DE KOCHKO, A., & PONCET, V. (2009). Current genetic differentiation of *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehn in the Guineo-Congolian African zone: cumulative impact of ancient climatic changes and recent human activities. *BMC Evolutionary Biology*, 9(1), 1-19.

GRIEG, M. D. **Café, negócios e elite**. São Paulo: Olhos d'Água, 2000. 190p.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; SILVA, H.C.; ARAÚJO, M.C. de. **Irrigação do Cafeeiro no Cerrado**: estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 4p. (Comunicado Técnico, 122).

LABOURIAU, L. F. G. O interesse do estudo das sementes. **Estudos. Avançados**, v.4, n.9, São Paulo, 1990. p.228-242.

LASHERMES, P.; COUTURON, E.; MOREAU, N.; PAILLARD, M.; LOAURN, J. Inheritance and genetic mapping of self-incompatibility in *Coffea canephora* Pierre. **Theoretical and Applied Genetics**, v.93, n.3, 1996. p.458-462.

LEITE, I.P. Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica* L.). Lavras: UFLA, 1991. 135f (**Dissertação - Mestrado** em Ciência dos Alimentos).

LUSH, J. L. Intra-sire correlations on regressions of offspring on dam as a method of estimating heritability of characteristics. **Journal of Animal Science**, p.293-301, 1940.

MACEDO, J. Os solos da região dos Cerrados. In: ALVARES V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (Eds.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS/UFV, 1996. p.135-155.

MANZOCCO, L.; LAGAZIO, C. Coffee brew shelf-life modelling by integration of acceptability and quality data. **Food Quality and Preference**, Oxford, v.20, n.1, p. 24-29, 2009.

MARTINS, A. L. **História do café**. 2 ed., São Paulo: Contexto, 2012. 320p.

MAZZAFERA, P.; SILVAROLLA, M.B. Caffeine content variation in single green arabica coffee seeds. **Seed Science Research**, Wageningen, v.20, n.3, p.163-167, 2010.

MEDINA FILHO, H.P.; CARVALHO, A.; SONDAHL, M.R.; FAZUOLI, L.C.; COSTA, W. D. Coffee breeding and related evolutionary aspects. **Plant Breeding Reviews**, v.2, 1984. p.157-193.

MENDES, L. C. Estudos para determinação das melhores formulações de blends de café arábica (*C. arabica*) com café robusta (*C. canephora* Conilon) para uso no setor de cafés torrados e moídos e de cafés espresso. 2005. 186f. **Tese** (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Unicamp, Campinas.

MISTRO, J. C. Estimativas de parâmetros genéticos visando o melhoramento do café robusta (*Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner). 2013. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. 152f.

MONTAGNON, C.; CUBRY, P.; LEROY, T. Amélioration génétique du caféier *Coffea canephora* Pierre: connaissances acquises, stratégies et perspectives. **Cahiers Agricultures**, v21, p.143-153, 2012.

MONTAGNON C., LEROY T., YAPO A. B. Diversité génotypique et phénotypique de quelques groupes de caféiers (*Coffea canephora* Pierre) en collection. Conséquences sur leur utilisation en sélection. **Café, Cacao, Thé**, v.36, n.3, p.187-198, 1992.

MONTAGNON, C.; LEROY, T.; ESKES, A. B. Amélioration variétale de *Coffea canephora*. 1: critères et méthodes de selection. **Plantations, Recherche, Développement**. Paris, v. 5, n. 1, p.18-33, 1998.

PALACIN, J.J.F.; LACERDA FILHO, A.F.; MELO, E.C.; SILVA, J.S.; DONZELES, M.L. Boas práticas para produzir café com qualidade. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília: Embrapa Café: CBP&D/Café, 2005.

PENDERGRAST M. **Uncommon grounds**: the history of coffee and how it transformed our world. Nova Iorque: Basic Books, 1999. 457p.

PIMENTA, C.J. Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de frutos colhidos de quatro estádios de maturação. Lavras: UFLA, 1995. 94p. (**Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos**)

PIMENTA, C.J. **Qualidade do café**. Lavras: Editora UFLA, 2003. 304p.

PINTO, N. A. V. D.; PEREIRA, R. G. F. A.; FERNANDES, S. M.; CARVALHO, V. D. de. Açúcares e sólidos solúveis em bebidas e blends de cafés torrados tipo expresso. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2001. p. 101.

RENA, A.B., BARROS, R.S., MAESTRI, M., SÖNDAHL, M.R. Coffee. In: SCHAFFER, B., ANDERSEN, P.C. (Eds.). **Handbook of environmental physiology of fruit crops. II. Sub-tropical and tropical crops**. USA: CRC Press, 1994. 310p.

RESENDE, M. D. V. Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002, 975p.

RESENDE, M.; CURTI, N.; REZENDE, S. B. de; CORRÊA, G. F. **Pedologia**: base para distinção de ambientes. 4.ed. Viçosa: NEPUT, 2002. 338 p.

RIBEYRE, F. Reconocimiento de calidades de robusta In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE QUALIDADE DE CAFÉ, 1., 2003, Campinas. **Palestras...** Campinas, SP: IAC – Instituto Agrônômico de Campinas, 2003. Disponível em <<http://agritrop.cirad.fr>> Acesso em 25 de maio de 2016.

ROCHA, C.C.; REIS, C.; CHAVES, A.R.M. Caracterização qualitativa de ácidos graxos como componentes dos óleos de grão de café verde, café torrado e borra de café. Anais do, 25 a 28 de novembro de 2013, Salvador – BA. Disponível em <[http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb\\_anais/simposio8/11.pdf](http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio8/11.pdf)> Acesso em 10 de junho de 2016.

SCHOLZ, M.B.S.; FIGUEIREDO, V.R.G.; SILVA, J.V.N; KITZBERGER, C.S.G. Características físico-químicas de grãos verdes e torrados de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) do IAPAR. **Coffee Science**, Lavras, v.6, n.3, p.245-255, 2011.

SCHUSTER, I.; CRUZ, C. D. **Estatística genômica aplicada a populações derivadas de cruzamentos controlados**. Viçosa: UFV, 2004. 568p.

SEABRA JUNIOR, S., PANTANO, S.C.; HIDALGO, A. F. RANGEL, M.; CARDOSO, A. L. L. Avaliação da posição e número de melancias cultivadas em casa de vegetação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, n. 4, p. 708-711, 2003.

SETTE, D. M. Os climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 29-42, 2004.

SMITH, R.F. History of coffee. In: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. (Eds.). **Coffee: Botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, 1985. 457p.

SIVETZ, M. **Coffee processing technology**. Westport: AVI, 1963. 349p.

SIVETZ, M.; DESROSIER, N.W. **Coffee technology**. Westport, AVI, 1979. 716 p.

SOARES, G. M.; VIEIRA FILHO, N. A. Q. As fazendas dos barões de café no Brasil: patrimônio histórico rural e turismo. **Reuna**, Belo Horizonte, v.13, n.3, p.41-53, 2008.

SPILLER, M. A. The chemical components of coffee. In: **Caffeine**. SPILLER, G. A. (Ed.) Boca Raton, CRC Press, 1998. p. 97-161.

STANISFIELD, W. D. **Genética**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1974. 958p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics a biometrical approach**. 2.ed. New York: McGraw-Hill Publishing, 1980. 633p.

TAUNAY, A. E. **Pequena história do café no Brasil (1727-1937)**. Rio de Janeiro: DNC, 1945. 558 p.

USDA - United States Department of Agriculture. **Foreign Agricultural Service**, Ithaca, NY. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov>>. Acesso em: 18 jul. 2023.

VAN DER VOSSSEN, H. A. M. Coffea selection and breeding. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Eds.). **Coffe: botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croom Helm, Westport Conn, 1985. p. 48-96.

VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados a cruzamentos dialélicos de variedades**. 1970. 112f. Tese (Livro Docente). Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura "Luiza de Queiroz". Piracicaba, SP. 1970.

VENEZIANO, W.; FAZUOLI, L. C. Avaliação de cultivares de cafeeiros Robusta (*Coffea canephora*) em Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1. Poços de Caldas, MG. **Anais...** EMBRAPA CAFÉ/MINASPLAN, p.459-461, 2000.

VENEZIANO, W. FONSECA, A.F.A.; FAZUOLI, L.C. Avaliação de clones de café conilon em Rondônia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 3. Porto Seguro, BA. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA CAFÉ - Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, p.219, 2003.

WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado: síntese terminológica e relações florísticas. Brasília: UnB, 2006. 373f. (**Tese de Doutorado** – Doutorado em Ecologia);

XIMENES, M. A. A tecnologia pós-colheita, e qualidade física e organoléptica de café Arábica de Timor. (**Dissertação de Mestrado**) 2010. 88f. Lisboa, Instituto Superior de Agronomia / Universidade Técnica de Lisboa.

ZEFERINO, L. B.; SARAIVA, S. H.; SILVA, L. C.; TEIXEIRA, L. J. Q.; LUCIA, S. M. D. Efeito da concentração de sólidos solúveis do extrato de café conilon no índice de refração, na densidade e na viscosidade do extrato. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1, 2010.

# **CAPÍTULO I**

**PARÂMETROS GENÉTICOS DE CAFÉ CONILON EM SISTMEMA IRRIGADO NO  
CERRADO**

**GENETIC PARAMETERS IN CONILON COFFEE IN AN IRRIGATED SYSTEM IN  
CERRADO**

## PARÂMETROS GENÉTICOS DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO

### RESUMO

A produção de café conilon desempenha um papel significativo na economia brasileira e na agricultura de diversos estados brasileiros, devido à sua adaptabilidade e ao seu alto rendimento. A caracterização de genótipos e a estimativa de parâmetros genéticos de populações contribui para os programas de melhoramento genético no desenvolvimento de genótipos de café conilon adaptados ao sistema de cultivo irrigado no Cerrado, para as características de interesse. O objetivo foi caracterizar os genótipos de café conilon disponíveis em coleções elite e estimar parâmetros genéticos relacionados a características agrônômicas em sistema de cultivo irrigado no Cerrado. Foram avaliadas a produtividade, o rendimento de café beneficiado, a altura de planta e o número de nós vegetativos e reprodutivos nos ramos plagiotrópicos de 35 genótipos de café conilon, com três repetições, em dois anos consecutivos, em esquema de parcela subdivida utilizando os genótipos para efeito de parcela e os anos para efeito de subparcela. Os dados foram submetidos a análise de variância e foram estimados os parâmetros genéticos. Houve efeito significativo de genótipos somente para a altura de planta. Para fonte de variação ano e interação genótipo x ano foi observado efeito significativo para todas as características. Para altura, foram obtidos altos valores de herdabilidade e coeficiente de variação genotípico maior que o coeficiente de variação ambiental. Para as demais características foram obtidas variâncias genotípicas negativas. Há condições favoráveis para seleção de genótipos de menor porte baseada na altura associado à maior produtividade devido à correlação negativa entre as duas características.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, diversidade genética, herdabilidade.

## GENETIC PARAMETERS IN CONILON COFFEE IN AN IRRIGATED SYSTEM IN CERRADO

### ABSTRACT

The production of robusta coffee plays a significant role in the Brazilian economy and agriculture in several Brazilian states, owing to its adaptability and high yield. Characterizing genetic resources and estimating genetic parameters of populations contribute to breeding programs in developing robusta coffee genotypes adapted to irrigated cultivation systems in the Cerrado region. The objective of this study was to characterize the available robusta coffee genotypes in elite collections and estimate genetic parameters related to agronomic traits in an irrigated cultivation system in the Cerrado. Productivity, processed coffee yield, plant height, and the number of vegetative and reproductive nodes in plagiotropic branches were evaluated for 35 robusta coffee genotypes over two consecutive years, using a split-plot design with genotypes as the main plot and years as the sub-plot. The data were subjected to analysis of variance, and genetic parameters were estimated. Significant genotype effects were observed only for plant height. Significant effects were observed for the year and genotype x year interaction for all traits. High heritability values and a genotypic coefficient of variation greater than the environmental coefficient of variation were obtained for plant height, indicating favorable conditions for selecting shorter genotypes. Negative genotypic variances were obtained for the other traits. These findings suggest favorable conditions for selecting shorter genotypes based on plant height.

**Key words:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, genetic diversity, heritability.

## 1. INTRODUÇÃO

A produção de café conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) no Brasil desempenha um papel significativo na economia e na agricultura de diversos estados brasileiros, devido à sua adaptabilidade e ao seu alto rendimento (Ferrão et al, 2023).

Os primeiros cafeeiros da espécie canéfora introduzidos no Brasil foram os do tipo Kouillou, trazidos de Guiné, Uganda e Angola, em 1912. Desde então a espécie vem sendo explorada no Espírito Santo, Rondônia e Bahia, sendo que começou a ter expressão comercial devido à expansão do seu cultivo em áreas consideradas marginais para *C. arabica*. (FAZUOLI et al., 2001; EIRA et al., 2005). Contudo, estimulado pelas demandas de desenvolvimento de tecnologias para o manejo da cafeicultura irrigada no Cerrado e a diversificação de espécies cultivadas por conta dos produtores de café da região dos Cerrados, os cafés canéforas vem sendo objeto de estudo de pesquisadores da Embrapa Cerrados, em altitude acima de 1000 m.

O sucesso da introdução de espécies em novas regiões e novos sistemas produtivos se deve ao desenvolvimento de tecnologias a partir das diversas áreas do conhecimento técnico-científico, entre elas, melhoramento genético, que visa obter genótipos superiores adaptados ao novo ambiente (Amabile, 2013).

Para o desenvolvimento de cultivares ou seleção de genótipos superiores de café conilon adaptadas ao sistema de cultivo irrigado no Cerrado, é fundamental conhecer a variabilidade genética existente nas coleções elite disponíveis. A caracterização desses genótipos permite identificar plantas com características desejáveis, como alta produtividade, adaptabilidade às condições locais, e qualidade de grãos. Além disso, a estimativa de parâmetros genéticos, como herdabilidade e correlações genéticas, fornece informações essenciais para o planejamento de cruzamentos e seleção de genótipos superiores (CRUZ e CARNEIRO, 2003).

Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo caracterizar os genótipos de café conilon disponíveis em coleções elite e estimar parâmetros genéticos relacionados a características agronômicas em sistema de cultivo irrigado no Cerrado. Espera-se obter informações valiosas que possam orientar o desenvolvimento de estratégias de melhoramento genético mais eficientes, contribuindo para a seleção de genótipos superiores, o desenvolvimento de cultivares adaptadas e a promoção da inovação e da sustentabilidade da cafeicultura no Cerrado brasileiro.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

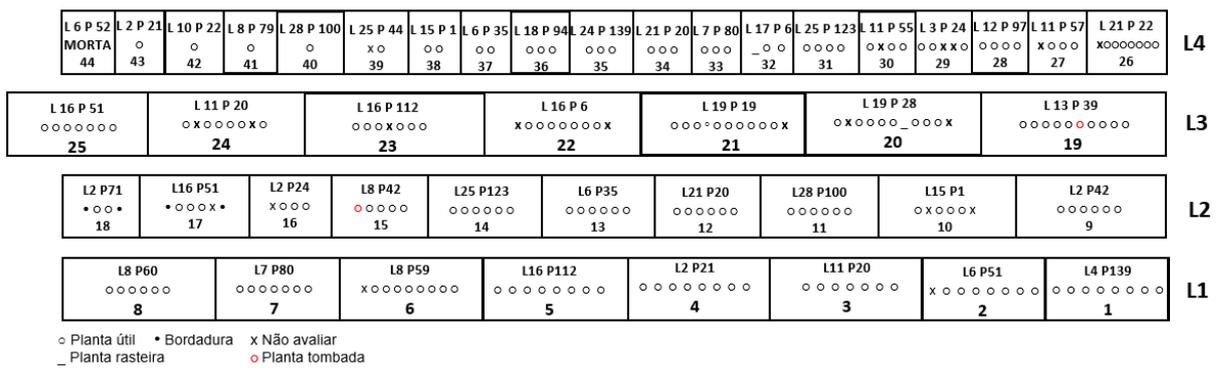
O trabalho foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados utilizando a coleção elite da unidade. Foram avaliados 18 genótipos de café conilon, dos 43 que compõem a coleção (Figura 3), oriundos de seleções realizadas anteriormente em progênies de cruzamentos naturais da cultivar Robusta Tropical (EMCAPA 8151) (FERRÃO et al., 2000) no campo experimental da Embrapa.

Os genótipos estão implantados no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal, situado a 15°35'57" de latitude Sul, 47°42'38" de longitude Oeste e à altitude de 1.007 m, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, argiloso, e irrigado por pivô central.

O espaçamento utilizado foi de 3,5 m entre linhas e 1,0 m entre plantas, com os clones agrupados por genótipo, sendo os genótipos das linhas 1 e 2 plantados em novembro de 2017 e os genótipos das linhas 3 e 4 plantados em janeiro de 2018 (Figura 3). Os genótipos avaliados contêm até 10 plantas, sem delineamento experimental, sendo utilizadas três plantas por genótipo para coleta de dados nos anos safra 2019/20 e 2020/21.

O manejo da irrigação foi baseado no Programa de Monitoramento de Irrigação do Cerrado proposto por Rocha et al. (2008) e para uniformização da florada, foi utilizado manejo de estresse hídrico sugerido por Guerra et al. (2005).

No preparo do solo foi feita calagem com duas toneladas de calcário dolomítico por hectare, divididas em doses iguais, uma antes da aração e outra antes da gradagem, visando aumento da saturação de bases para 60%, juntamente com a aplicação de duas toneladas de gesso agrícola. No plantio foram adicionados, por berço, 120 g de superfosfato triplo, 50 g de termofosfato magnesiano (Yoorin®) e 24,5 g de micronutrientes (FTE BR 12). A adubação de manutenção foi feita com 450 kg ha<sup>-1</sup> de N com ureia, 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com cloreto de potássio, aplicados em quatro parcelas iguais em setembro, dezembro, fevereiro e março, 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com superfosfato simples como fonte, sendo dois terços aplicados em setembro e um terço em dezembro.



**Figura 3.** Croqui da disposição de genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado em campo experimental implantados em novembro de 2017. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2023.

Foram avaliadas nas mesmas plantas as seguintes características: altura da planta, em cm, com auxílio de uma trena e número de nós vegetativos e reprodutivos nos ramos plagiotrópicos. As avaliações foram feitas no terço médio utilizando dois ramos plagiotrópicos de cada planta nas faces leste e oeste e foram realizadas em dezembro de 2019 e dezembro de 2020.

A produtividade em (kg/ha) e o rendimento de café beneficiado em relação ao café com casca, foram determinados utilizando grãos colhidos nos anos de 2020 e 2021 de forma manual. Os frutos foram colhidos separadamente e processados por via seca, em terreno convencional, sendo revolvidos diariamente para secagem uniforme. Quando os frutos atingiram 11% de umidade, foram recolhidos do terreno. As amostras foram então pesadas, beneficiadas (descascadas) e pesadas novamente para se determinar o rendimento do café em coco em café beneficiado (renda) e a produção por planta (produtividade). A produtividade foi extrapolada de acordo com o espaçamento entre plantas e umidade do grão corrigida para 13% e a renda foi realizada dividindo-se a massa após o beneficiamento pela massa de grãos antes do beneficiamento. A determinação da umidade dos grãos foi realizada com aparelho GEHAKA G610i.

Foi realizada análise de variância em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo considerados os genótipos, os anos e a interação (Tabela 2). Os genótipos foram considerados como parcela e os anos como subparcela. Na natureza do modelo, os genótipos foram considerados fixos e os anos considerados aleatórios. A fonte de variação parcela foi considerada fixa e subparcela considerada

aleatória e foi utilizado o seguinte modelo estatístico de parcela subdividida no delineamento inteiramente ao acaso (DIC):

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + \varepsilon_{ij} + A_k + GA_{ik} + \delta_{ijk}$$

onde:

$Y_{ijk}$  = é o valor observado relativo da característica do i-ésimo genótipo na j-ésima repetição no k-ésimo ano;

$\mu$  = média geral;

$G_i$  = efeito do i-ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, g$ );

$\varepsilon_{ij}$ , = erro aleatório a

$A_k$  = efeito do k-ésimo ano ( $k = 1, 2, \dots, a$ )

$GA_k$  = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o k-ésimo ano

$\delta_{ijk}$  = erro aleatório b

**Tabela 2.** Esquema da análise de variância conjunta de um modelo de delineamento inteiramente ao acaso (DIC) com interação de primeira ordem, com as esperanças dos quadrados médios e teste F para as fontes de variação, considerando efeitos fixos dos genótipos, efeitos aleatórios dos anos e interação genótipo x ano.

FV	GL	QM	E (QM)	F
Genótipo (G)	$g - 1$	QMG	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2 + r \frac{g}{g-1} \sigma_{ga}^2 + ra\Phi_g$	$\frac{QMG + QMEb}{QMGA + QMEa}$
Erro a	$(r - 1)(g - 1)$	QMEa	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2$	
Ano	$a - 1$	QMA	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + rg\sigma_{\varepsilon a}^2$	$\frac{QMA}{QMEb}$
G x A	$(g - 1)(a - 1)$	QMGA	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + r \frac{p}{p-1} \sigma_{ga}^2$	$\frac{QMGA}{QMEb}$
Erro b	$(g - 1)(r - 1)$	QMEb	$\sigma_{\varepsilon b}^2$	
Total	$gar - 1$			

Os componentes de variância de genótipo, de ano e da interação, assim como a herdabilidade e os coeficientes de variação genético ( $CV_g$ ) e ambiental ( $CV_e$ ) em nível de genótipo e ano, foram calculados pelas seguintes expressões:

Componente de variância genética – efeito de genótipo:

$$\hat{\Phi}_g = \frac{QMG + QMEb - QMEa - QMGA}{ra};$$

Componente de variância genética – efeito de ano:

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{QMA - QMEb}{rg};$$

Componente de variância da interação genótipo x ano:

$$\hat{\sigma}_{ga}^2 = \frac{(QMGA - QMEb) \cdot g - 1}{r} \cdot \frac{g - 1}{g};$$

Herdabilidade considerando o efeito genético na parcela:

$$H^2 = \frac{\hat{\Phi}_g}{QMG/ar};$$

Herdabilidade considerando o efeito genético na subparcela:

$$H^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{QMA/ar};$$

Coeficiente de variação ambiental:

$$CV_e(\%) = \frac{100\sqrt{QME}}{m};$$

Coeficiente de variação genético:

$$CV_g(\%) = \frac{100\sqrt{\hat{\Phi}_g^2}}{m};$$

onde  $m$  = média do caractere;

Coeficiente de variação relativo:

$$CV_r = \frac{CV_g}{CV_e};$$

Acurácia seletiva:

$$\hat{r}_{\hat{g}g} = \sqrt{1 - 1/F}$$

Para análise os dados de produtividade em kg/ha foram transformados segundo a expressão:

$$Y^* = \log(Y + 0,5);$$

Os dados de rendimento de café beneficiado (RENDA), em porcentagem, foram transformados segundo a expressão:

$$Y^* = \sin^{-1} \sqrt{\frac{Y}{100}};$$

Os dados de contagem de número de nós foram transformados segundo a expressão:

$$Y^* = \sqrt{Y + 0,5};$$

As médias foram agrupadas a partir do teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. Foram realizadas as correlações de Pearson para todas as características.

Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2013).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A análise de variância (Tabela 3), mostrou haver diferença significativa entre os genótipos somente para a característica altura, evidenciando a variabilidade genética para esta característica. Houve diferença significativa entre os anos avaliados e interação significativa entre os genótipos e anos para todas as características avaliadas.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância em esquema de parcelas subdivididas no tempo e estimativa de parâmetros genéticos de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), altura de plantas (ALTURA), número de nós nos produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNPRP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNVRP) avaliados nos anos safra de 2019/20 e 2020/21 em 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

FV	GL	QM				
		PRODUTIVIDADE (kg/ha)	RENDA (%)	ALTURA (cm)	NNPRP	NNVRP
Genótipo	34	2,352 <sup>ns</sup>	0,118 <sup>ns</sup>	1230,711 <sup>**</sup>	0,444 <sup>ns</sup>	0,328 <sup>ns</sup>
Erro a	70	0,132	0,009	86,162	0,260	0,098
Ano	1	7,406 <sup>**</sup>	0,035 <sup>**</sup>	102920,0 <sup>**</sup>	10,428 <sup>**</sup>	7,000 <sup>**</sup>
G x A	34	3,104 <sup>**</sup>	0,156 <sup>**</sup>	83,711 <sup>**</sup>	0,501 <sup>**</sup>	0,213 <sup>**</sup>
Erro b	70	0,099	0,007	15,162	0,255	0,079
F - GENÓTIPO		0,757	0,761	7,334	0,917	1,310
F - ANO		75,008	4,674	6788,066	40,947	89,020
F - G x A		31,431	20,891	5,521	1,969	2,705
Média		3207,126	51,91	159,81	13,74	6,14
CV <sub>e</sub> GENÓTIPO (%)		11,578	12,048	5,809	13,704	12,315
CV <sub>e</sub> ANO (%)		10,014	11,008	2,437	13,551	11,035
$\hat{\Phi}_g$		-0,131	-0,007	179,333	-0,011	0,016
$\hat{\sigma}_a^2$		0,070	0,000	980,046	0,097	0,066
$\hat{\sigma}_{ga}^2$		0,973	0,048	22,197	0,080	0,043
CV <sub>g</sub> (%)		,	,	8,380	,	4,983
CV <sub>r</sub> GENÓTIPO		,	,	1,443	,	0,405
CV <sub>r</sub> - ANO		,	,	3,439	,	0,452
H <sup>2</sup> (média) (%)		-33,364	-33,465	87,429	-14,335	29,316
$\hat{r}_{gg}$		,	,	0,929	,	0,486

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade; <sup>\*</sup>significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

CV<sub>e</sub> = coeficiente de variação ambiental;  $\hat{\Phi}_g$  = componente de variância genética (efeito da parcela – genótipo);  $\hat{\sigma}_a^2$  = componente de variância genética (efeito da subparcela – ano);  $\hat{\sigma}_{ga}^2$  = componente de variância da interação genótipo x ano; CV<sub>g</sub> = coeficiente de variância genético; CV<sub>r</sub> = coeficiente de variação relativo (CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub>) e; H<sup>2</sup> = coeficiente de determinação ou herdabilidade.

Já para a fonte de variação ano foi observado efeito significativo para todas as características, da mesma forma que foi observado efeitos significativos para a interação genótipos x anos. Esse comportamento é esperado para as características de natureza biométrica. Já para a produtividade, uma das explicações pode estar relacionada à fenologia bianual do cafeeiro, onde em anos de alta produção há maior direcionamento de fotoassimilados para os frutos. Essa característica, inerente a

diversas culturas perenes (Fioravanço e Czermainski, 2018) é uma das causas mais importantes para a ocorrência dos efeitos significativos da interação genótipos x anos, sendo importante a avaliação deste parâmetro por pelo menos quatro colheitas (Ferrão et al, 2023; Pereira et al, 2011).

Para os genótipos em estudo, para os anos de avaliação, a ausência de efeito de genótipo na análise de variância pode ser explicada pelo fato de estes genótipos fazerem parte de uma coleção elite, onde foram selecionados dentro de 238 acessos em um ranqueamento baseado na produtividade, embora outras características tenham sido avaliadas como características morfoagronômicas, bioquímicas, reação a doenças e força de desprendimento dos frutos (Sala, 2018; Brige, 2016; Santin, 2013).

O maior coeficiente de variação ambiental para efeito de genótipo encontrado foi de 13,704%, para o número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNPRP), o que poderia sugerir uma boa precisão experimental. Contudo, outros indicadores mais apropriados podem ser utilizados para a avaliação da qualidade experimental, como valor de F e a acurácia seletiva, pois relacionam o coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) com o número de repetições e o coeficiente de variação genético ( $CV_g$ ) (Resende, 2007). Dessa forma, Resende e Duarte (2007) sugerem que valores de F superiores a 2,0 ocasionam maior acurácia seletiva. Para todas as características avaliadas, somente a altura obteve o valor de F maior que 2,0, igual a 7,334, levando a uma acurácia seletiva de 0,929, classificada como muito alta, segundo os mesmos autores. Para a característica número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos os valores de F e de acurácia seletiva foram de 1,31 e 0,486, respectivamente (acurácia moderada).

O coeficiente de variação genético permite deduzir a variabilidade genética entre os tratamentos da população avaliada. Dessa forma, quando o quociente entre o coeficiente de variação genético e o coeficiente de variação ambiental ( $CV_g/CV_e = CV_r$ ) é maior que 1 para determinado caractere, caracteriza uma situação mais favorável para o melhoramento (Amabile, 2013). Essa condição foi somente encontrada para as características altura de planta e número de nós reprodutivos nos ramos plagiotrópicos.

A herdabilidade estimada para as características avaliadas neste estudo foram de 87,429 e 29,316 para altura e número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos

(NNPRP), respectivamente. A herdabilidade é uma medida que indica a proporção da variação fenotípica que pode ser atribuída às variações genéticas. Em outras palavras, é uma medida da confiabilidade do valor fenotípico como um indicador do valor genético. A herdabilidade é amplamente utilizada em estudos genéticos e de melhoramento para entender o quanto as diferenças observadas entre os indivíduos são influenciadas por fatores genéticos. É importante ressaltar que a herdabilidade não é uma quantidade mensurável diretamente, mas é estimada por meio de modelos estatísticos que levam em consideração as variações genéticas e ambientais na população em estudo (Jacquard, 1983).

Valores negativos de variância genotípica assim como de herdabilidade, como os encontrados para as características produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos, podem indicar problemas experimentais, com uma variância ambiental superestimada devido a uma resposta diferencial dos tratamentos frente às variações de uma repetição para outra (CRUZ, 2013).

As médias foram agrupadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade (Tabela 4). No ano de 2019/20, para a característica altura, os genótipos foram agrupados em 8 classes, sendo que grande parte dos genótipos plantados na segunda etapa da instalação do experimento figuraram dentre os grupos com menores médias, obviamente. Contudo, alguns genótipos plantados na primeira etapa compõem os grupos de menores médias como é o caso dos genótipos L1L4P139(1), L1L6P51(2), L2L8P42(15) e L2L2P24(16). Já para o ano de 2020/21, os genótipos L1L6P51(2), L2L8P42(15) e L2L2P24(16) não diferiram entre si assim como os genótipos L4L11P57(27) e L4L7P80(33) também não diferiram entre si. O genótipo L4L12P97(28) foi o que apresentou a menor média para a característica nos dois anos, 103,33 cm em 2019/20 e 150 cm em 2020/21, diferindo de todos os demais genótipos. Do ponto de vista da cafeicultura irrigada no Cerrado, o que se busca são plantas de menor porte e maior potencial produtivo, uma vez que muitos cultivos são irrigados via pivô central e por facilitar o manejo da cultura e a colheita.

**Tabela 4.** Médias de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), altura de planta, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNPRP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNVRP) avaliados em 35 genótipos de café conilon cultivados em sistema irrigado no Cerrado, em dois anos-safra consecutivos. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

Nomes genótipos	PRODUTIVIDADE (kg/ha)				RENDA (%)				ALTURA				NNPRP				NNVRP			
	2019/20		2020/21		2019/20		2020/21		2019/20		2020/21		2019/20		2020/21		2019/20		2020/21	
1 L1 L4 P139	4571,23	Aa	1389,09	Aa	60,68	Aa	50,97	Aa	136,67	Be	183,33	Ad	15,67	Aa	11,67	Bb	7,00	Aa	6,33	Ac
2 L1 L6 P51	1852,13	Aa	1911,23	Aa	47,04	Aa	60,97	Aa	120,00	Bf	162,67	Af	8,67	Aa	9,33	Ab	5,67	Aa	5,00	Ac
3 L1 L11 P20	6975,00	Aa	0,00	Bc	63,07	Aa	0,00	Bb	155,00	Bb	195,00	Ab	11,33	Aa	13,00	Ab	7,33	Aa	4,00	Bc
4 L1 L2 P21	0,00	Bc	1576,28	Aa	0,00	Bc	58,78	Aa	163,33	Ba	199,33	Aa	13,67	Aa	11,33	Ab	7,00	Aa	4,67	Ac
5 L1 L16 P112	1188,77	Bb	1773,31	Aa	21,10	Bb	56,51	Aa	166,67	Ba	203,33	Aa	10,67	Aa	14,33	Aa	6,33	Aa	3,33	Bc
6 L1 L8 P59	4669,70	Aa	384,22	Bb	55,98	Aa	68,36	Aa	148,33	Bc	181,33	Ad	9,67	Aa	14,33	Aa	7,00	Aa	5,67	Ac
7 L1 L7 P80	7310,00	Aa	1556,57	Ba	64,87	Aa	58,91	Aa	151,67	Bc	188,33	Ac	12,67	Aa	14,33	Aa	6,67	Aa	5,33	Ac
8 L1 L8 P60	5241,13	Aa	236,44	Bb	59,52	Aa	51,64	Aa	166,67	Ba	207,33	Aa	14,67	Aa	9,33	Bb	7,67	Ba	14,67	Aa
9 L2 L2 P42	8866,57	Aa	1871,83	Ba	61,91	Aa	53,48	Aa	148,33	Bc	193,00	Ab	11,33	Aa	15,33	Aa	8,33	Aa	5,33	Bc
10 L2 L15 P1	0,00	Bc	3093,44	Aa	0,00	Bc	53,96	Aa	150,00	Bc	190,00	Ab	14,67	Aa	17,33	Aa	7,00	Aa	4,67	Ac
11 L2 L28 P100	3684,57	Aa	2216,64	Aa	59,40	Aa	49,87	Aa	145,67	Bc	191,33	Ab	13,00	Aa	17,00	Aa	8,33	Aa	7,33	Ab
12 L2 L21 P20	5004,67	Aa	620,66	Bb	58,27	Aa	53,06	Aa	147,33	Bc	183,00	Ad	16,33	Aa	11,33	Ab	6,33	Aa	5,33	Ac
13 L2 L6 P35	3428,40	Aa	926,06	Bb	56,07	Aa	61,46	Aa	162,00	Ba	201,00	Aa	12,33	Aa	14,00	Aa	7,67	Aa	8,00	Ab
14 L2 L25 P123	6915,90	Aa	561,55	Bb	62,76	Aa	36,58	Ba	146,67	Bc	196,67	Ab	18,33	Aa	16,00	Aa	7,67	Aa	4,67	Bc
15 L2 L8 P42	3684,53	Aa	1239,35	Aa	61,62	Aa	52,57	Aa	130,00	Be	163,33	Af	9,67	Aa	13,00	Ab	8,33	Aa	4,00	Bc
16 L2 L2 P24	6679,50	Aa	1362,49	Ba	62,28	Aa	51,09	Aa	122,00	Bf	167,00	Af	10,33	Aa	12,00	Ab	7,67	Aa	4,33	Bc
17 L2 L16 P51	5418,43	Aa	3113,14	Aa	60,06	Aa	53,08	Aa	152,67	Bc	181,67	Ad	10,67	Aa	15,67	Aa	6,67	Aa	7,67	Ab
18 L2 L2 P71	7152,33	Aa	2512,19	Aa	55,47	Aa	59,15	Aa	138,33	Bd	185,00	Ac	13,00	Aa	15,33	Aa	7,00	Aa	5,33	Ac
19 L3 L13 P39	7802,57	Aa	1753,61	Ba	57,42	Aa	46,47	Aa	135,00	Be	176,67	Ad	10,33	Aa	15,67	Aa	7,33	Aa	8,00	Ab
20 L3 L19 P28	7999,60	Aa	4137,72	Aa	61,09	Aa	49,09	Aa	143,67	Bd	193,33	Ab	10,67	Aa	16,33	Aa	8,00	Aa	4,67	Bc
21 L3 L19 P19	4157,43	Aa	0,00	Bc	55,36	Aa	0,00	Bb	138,33	Bd	188,33	Ac	10,67	Ba	22,00	Aa	6,00	Aa	6,00	Ac

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

**Tabela 4.** Médias de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), altura de planta, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNPRP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNVRP) avaliados em 35 genótipos de café conilon cultivados em sistema irrigado no Cerrado, em dois anos-safra consecutivos. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

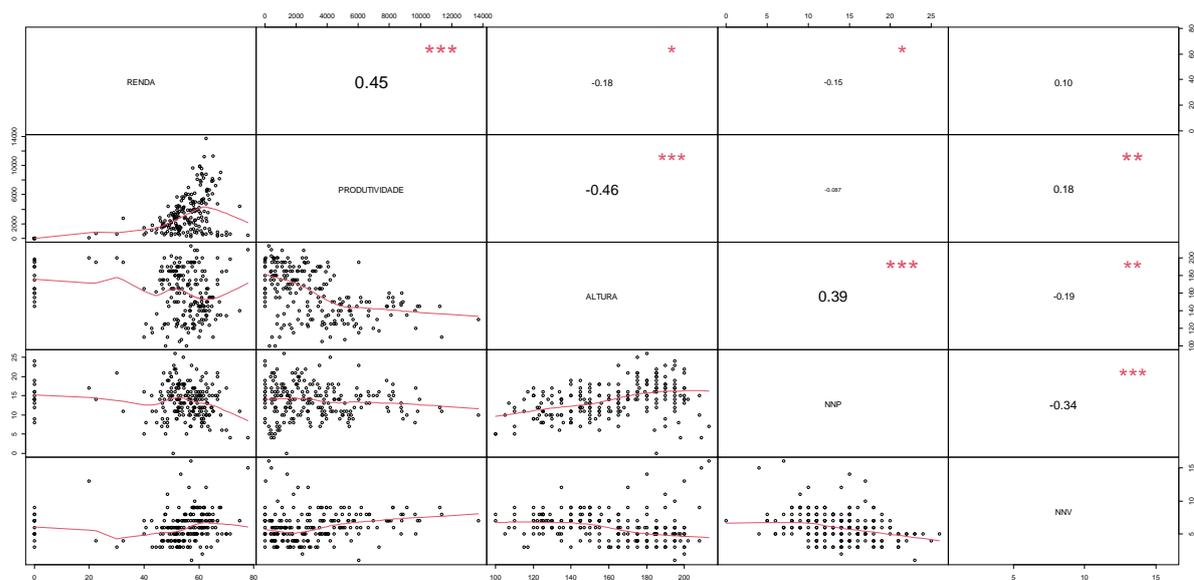
(Continuação)

Nomes genótipos	PRODUTIVIDADE (kg/ha)				RENDA (%)				ALTURA				NNPRP				NNVRP			
	2019/20		2020/21		2019/20		2020/21		2019/20		2020/21		2019/20		2020/21		2019/20		2020/21	
22 L3 L16 P6	6068,70	Aa	1182,21	Ba	67,87	Aa	52,65	Ba	134,67	Be	178,67	Ad	14,00	Aa	17,67	Aa	6,33	Aa	5,33	Ac
23 L3 L16 P112	7526,70	Aa	1694,50	Ba	58,48	Aa	51,36	Aa	142,67	Bd	188,33	Ac	12,67	Aa	17,33	Aa	5,00	Aa	3,33	Ac
24 L3 L11 P20	3743,63	Aa	738,88	Bb	53,35	Aa	54,24	Aa	129,33	Be	176,67	Ad	11,33	Aa	15,33	Aa	6,00	Aa	3,33	Bc
25 L3 L16 P51	8413,37	Aa	3507,21	Aa	58,87	Aa	49,66	Aa	125,00	Bf	173,33	Ae	12,00	Aa	14,33	Aa	7,33	Aa	3,00	Bc
26 L4 L21 P22	3783,07	Aa	2029,46	Aa	48,85	Aa	50,35	Aa	123,33	Bf	178,33	Ad	15,33	Aa	21,67	Aa	7,00	Aa	6,00	Ac
27 L4 L11 P57	3487,50	Aa	3172,26	Aa	58,71	Aa	51,52	Aa	123,00	Bf	155,00	Ag	11,00	Aa	14,67	Aa	6,00	Aa	4,00	Ac
28 L4 L12 P97	472,90	Ba	2620,56	Aa	47,79	Aa	53,37	Aa	103,33	Bh	150,00	Ah	5,00	Ba	14,67	Aa	7,33	Aa	3,33	Bc
29 L4 L3 P24	4137,73	Aa	2403,82	Aa	56,43	Aa	54,34	Aa	120,67	Bf	181,67	Ad	13,00	Aa	16,67	Aa	6,00	Aa	4,33	Ac
30 L4 L11 P55	4157,43	Aa	571,40	Bb	58,89	Aa	63,43	Aa	122,67	Bf	176,67	Ad	12,00	Ba	20,67	Aa	8,33	Aa	4,67	Bc
31 L4 L25 P123	6994,70	Aa	1458,06	Ba	65,77	Aa	54,17	Aa	141,67	Bd	188,33	Ac	11,33	Ba	19,67	Aa	9,00	Aa	5,00	Bc
33 L4 L7 P80	4275,63	Aa	1773,31	Aa	52,18	Aa	50,77	Aa	112,33	Bg	160,00	Ag	12,33	Aa	17,33	Aa	3,67	Aa	4,00	Ac
34 L4 L21 P20	4630,30	Aa	1438,35	Aa	57,44	Aa	49,53	Aa	117,33	Bf	170,00	Ae	11,00	Aa	16,00	Aa	8,33	Aa	5,33	Bc
35 L4 L24 P139	2029,47	Aa	1871,83	Aa	48,60	Aa	50,79	Aa	122,00	Bf	180,00	Ad	8,67	Ba	19,00	Aa	6,33	Aa	4,67	Ac
36 L4 L18 P94	2778,17	Aa	2699,37	Aa	52,99	Aa	51,05	Aa	132,00	Be	180,00	Ad	11,00	Ba	19,33	Aa	7,00	Aa	4,33	Bc

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Ao se levar em consideração os dados obtidos para os dois anos, observa-se uma correlação negativa significativa entre os caracteres altura e produtividade assim como entre NNPRP e NNVRM, ao nível de 0,1% de probabilidade (Figura 4). Pode-se inferir a partir dessa correlação, que, por mais que a estimativa de parâmetros genéticos para produtividade não favoreçam a seleção a partir desta característica, possivelmente é possível conseguir ganhos genéticos indiretos pela seleção de plantas de menor porte adaptadas ao plantio em pivôs.



**Figura 4.** Correlação entre características morfoagronômicas rendimento de café beneficiado (RENDA), produtividade, altura, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNV) avaliadas em 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado em dois anos consecutivos. (\*, \*\* e \*\*\* correspondem a significância de  $p \leq 0,5$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,001$ , respectivamente). Planaltina, Distrito Federal, 2023.

Esta correlação negativa entre produtividade e altura contraria os resultados obtidos por Carvalho et al (2010) e Valadares et al (2016), que encontraram correlações positivas entre altura de plantas de café arábica e conilon e a produtividade. Já Severino et al (2002) verificaram que a produtividade das linhagens de café arábica estudadas não foi influenciada pelo diâmetro da copa, altura da planta ou curvatura dos ramos plagiotrópicos. Dessa forma, é necessário ainda a avaliação de mais colheitas e o acompanhamento das características biométricas para estimar melhor esta correlação.

#### 4. CONCLUSÕES

Para as condições experimentais, levando em conta a população estudada e as características avaliadas, a altura é o caractere com condições favoráveis para seleção de genótipos de menor porte, adaptadas a sistemas produtivos irrigados por pivôs e produtivas, devido à correlação negativa entre altura e produtividade.

As condições experimentais não foram favoráveis para a seleção de genótipos a partir das demais características avaliadas, provavelmente devido a uma resposta diferencial dos tratamentos frente às variações de uma repetição para outra.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMABILE, R. F. **Caracterização molecular, morfoagronômica e de qualidade de grãos de genótipos elite de cevada irrigada no Cerrado**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CARVALHO, A. M. D., MENDES, A. N. G., CARVALHO, G. R., BOTELHO, C. E., GONÇALVES, F. M. A. E FERREIRA, A. D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 45, 269-275, 2010.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

USDA – United States Department of Agriculture. Foreign Agricultural Service, Ithaca, NY. Disponível em: <http://www.fas.usda.gov> Acesso em: 18 jul. 2023.

FERRÃO, R. G., VOLPI, P., SENRA, J. D. B., COMÉRIO, M., FERRÃO, M., VERDIN FILHO, A. C., & da FONSECA, A. F. A. (2023). Comportamento e a variabilidade genética entre clones de café conilon em ambientes representativos e não irrigados do Espírito Santo. **Multi-Science Research**, 5(2), 06-21. DOI: 10.47621/M-SR.2022.v.5.n.2.06.062

FIORAVANÇO, J. C., & CZERMAINSKI, A. B. C. (2018). Biennial bearing in apple cultivars. **Revista Ceres**, 65, 144-149.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; SILVA, H.C.; ARAÚJO, M.C. de. **Irrigação do Cafeeiro no Cerrado**: estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 4p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 122).

JACQUARD, A. Heritability: one word, three concepts. **Biometrics**, 39(2):465-477, 1983.

PEREIRA, S. P., BARTHOLO, G. F., BALIZA, D. P., SOBREIRA, F. M., GUIMARÃES, R. J. (2011). Crescimento, produtividade e bienalidade do cafeeiro em função do espaçamento de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 46, 152-160.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 362p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, set. 2007.

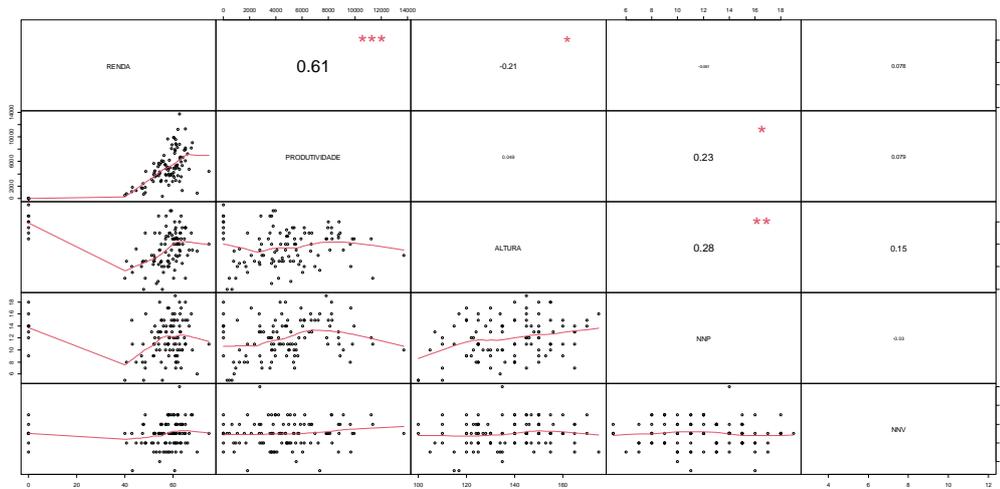
ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; SILVA, F. A. M.; MACHADO JÚNIO, J. R. R.; ARAÚJO, M. C.; SILVA, H. C. Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no Cerrado. In: VIII Simpósio brasileiro de pesquisa em cafeicultura irrigada, 2006, Araguari. **VIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada**. Viçosa: UFV, 2006. p. 61-64.

SEVERINO, L. S.; SAKIYAMA, N. S.; PEREIRA, A. A.; MIRANDA, G. V.; ZAMBOLIM, L. e BARROS, U. V. Associações da produtividade com outras características agronômicas de café (*Coffea arabica* L. "Catimor"). *Acta Scientiarum*, v. 24, n. 5, p. 1467-1471, 2002.

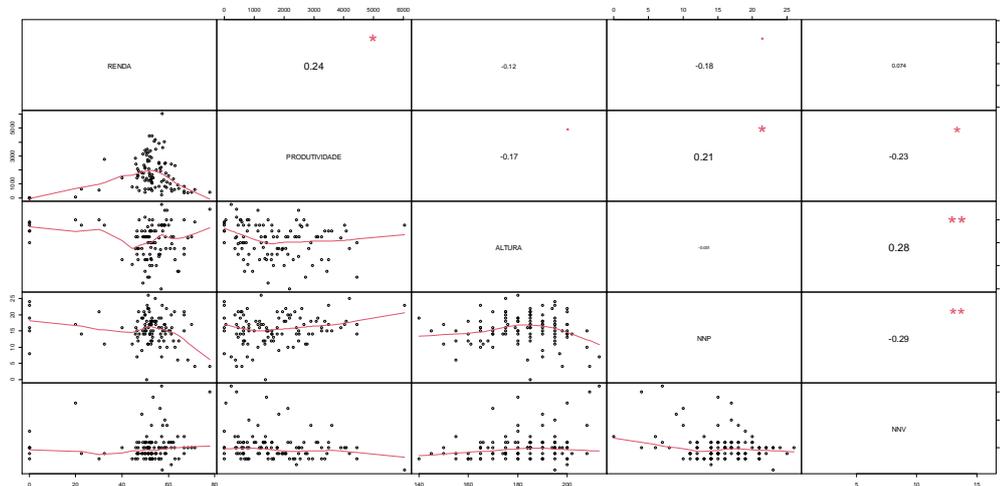
VALADARES, F., SANTOS, R., DUTRA, I., NETO, J. S., MOULIN, M. Análise morfoagronômica e molecular das cultivares de café do IFES campus de Alegre. *Enciclopédia Biosfera*, 13(23), 2016.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

## ANEXO I



**Figura 5.** Correlação entre características morfoagronômicas rendimento de café beneficiado (RENDA), produtividade, altura, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNV) de 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, avaliadas em 2020. Planaltina, Distrito Federal, 2023. (\*, \*\* e \*\*\* correspondem a significância de  $p \leq 0,5$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,001$ , respectivamente)



**Figura 6.** Correlação entre características morfoagronômicas rendimento de café beneficiado (RENDA), produtividade, altura, número de nós produtivos nos ramos plagiotrópicos (NNP) e número de nós vegetativos nos ramos plagiotrópicos (NNV) de 35 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, avaliadas em 2021. Planaltina, Distrito Federal, 2023. (\*, \*\* e \*\*\* correspondem a significância de  $p \leq 0,5$ ,  $p \leq 0,01$  e  $p \leq 0,001$ , respectivamente)

## **CAPÍTULO II**

**PARÂMETROS GENÉTICOS BASEADO EM COMPONENTES BIOQUÍMICOS  
DOS GRÃOS DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO**

**GENETIC PARAMETERS OF CONILON COFFEE UNDER IRRIGATION IN  
CERRADO BASED ON BIOCHEMICAL COMPOUNDS**

## PARÂMETROS GENÉTICOS DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO BASEADA EM COMPONENTES BIOQUÍMICOS DOS GRÃOS

### RESUMO

A qualidade do café sofre influência de uma combinação de fatores genéticos e ambientais, incluindo características bioquímicas. A estimativa de parâmetros genéticos baseada em componentes bioquímicos dos grãos crus, auxilia a seleção de genótipos superiores associados à qualidade da bebida final. O objetivo do presente estudo foi estimar os parâmetros genéticos de acessos elite de café conilon sob irrigação no Cerrado em dois anos consecutivos, com base nas características bioquímicas dos grãos. Com o auxílio da espectroscopia do infravermelho próximo foram avaliados os teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina dos grãos crus de 18 genótipos de café conilon, em dois anos de colheita. Os dados foram submetidos à análise de variância em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo considerado os genótipos as parcelas e os anos subparcelas. Houve diferença significativa entre os genótipos para cafeína, sacarose e trigonelina. As diferenças entre os anos foram significativas para todas as características avaliadas e houve interação entre as fontes de variação para os teores de 5-ACQ, cafeína e sacarose. O teor de cafeína foi a característica que obteve maior valor de herdabilidade e coeficiente de variação relativo superior a 1. Para a população estudada, dentre os compostos bioquímicos avaliados, a cafeína se mostra uma característica que pode ser utilizada com sucesso para seleção de genótipos superiores.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, Robusta Tropical, diversidade genética, herdabilidade, NIRS

## GENETIC PARAMETERS OF CONILON COFFEE UNDER IRRIGATION IN CERRADO BASED ON BIOCHEMICAL COMPOUNDS

### ABSTRACT

Coffee quality is influenced by a combination of genetic and environmental factors, including biochemical characteristics. The estimation of genetic parameters based on biochemical components of raw grains helps the selection of superior genotypes associated with the cup quality. The objective of the present study was to estimate the genetic parameters of elite accessions of irrigated Conilon coffee in the Cerrado region over two consecutive years, based on the biochemical characteristics of the beans. With support of near-infrared spectroscopy, the contents of chlorogenic acid (5-CQA), caffeine, sucrose, citric acid and trigonelline were evaluated in the raw beans of 18 Conilon coffee genotypes during two harvest years. The data were subjected to analysis of variance using a split-plot design, with genotypes as the main plots and years as the subplots. Significant differences were observed among the genotypes for caffeine, sucrose, and trigonelline. Significant differences between years were observed for all evaluated characteristics, and there was an interaction between sources of variation for the contents of 5-CQA, caffeine, and sucrose. Caffeine showed the highest heritability value and a coefficient of relative variation greater than 1. Among the evaluated biochemical compounds, caffeine proved to be a characteristic that can be successfully used for the selection of superior genotypes in the studied population.

**Key words:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, Robusta Tropical, genetic diversity, NIRS.

## 1. INTRODUÇÃO

O melhoramento do café canéfora (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) tem proporcionado o lançamento de variedades e clones produtivos e adaptados aos diferentes ambientes e sistemas de produção juntamente com notório incremento na qualidade final da bebida, a exemplo os Robustas amazônicos e os Conilons capixabas. Contudo, a qualidade da bebida do café é influenciada por uma combinação complexa de fatores genéticos e ambientais, incluindo características bioquímicas específicas (Pimenta et al, 2028).

Dentre os componentes bioquímicos presentes no café, sacarose, cafeína, trigonelina, lipídios e ácidos clorogênicos desempenham papéis importantes na formação do sabor, aroma e perfil sensorial da bebida após a torrefação dos grãos (Cheng et al, 2016; Farah, 2009) Enquanto sacarose e trigonelina têm correlação positiva com a qualidade da xícara de café, cafeína e algumas subclasses de ácidos clorogênico, presentes em maiores proporções nos cafés canéforas, têm uma correlação negativa com a qualidade da bebida (Cheserek et al, 2022; Tran et al, 2016; Gichimu et al, 2014).

Existe uma lacuna significativa na literatura sobre os parâmetros genéticos relacionados às características bioquímicas específicas para o café conilon irrigado no Cerrado, uma vez que apenas a Embrapa Cerrados desenvolve o tema para este ambiente (Sala, 2018, Brige, 2016). Em um programa de melhoramento genético, a estimativa de parâmetros genéticos é de suma importância na avaliação da variabilidade e proporção em que os caracteres desejáveis são herdados, o que torna o processo de seleção e avaliação mais eficiente (VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Segundo Ferrão et al (2023) para se obter uma cultivar superior são necessários no mínimo 12 anos de pesquisa de campo, com avaliação de diversas características associadas à produção e à qualidade final do produto. Nesse sentido, ferramentas que tornem a tomada de dados mais célere são importantes aliadas dentro dos programas de melhoramento, como é o caso da espectroscopia do infravermelho próximo (NIRS).

O NIRS é um método extremamente simples e rápido, não destrutivo e que não necessita de reagentes ou diluições, usado na análise componentes orgânicos de alimentos, baseado no princípio de emissão de radiação eletromagnética, onde primeiramente, realiza-se a leitura espectral de diversas amostras do produto em um intervalo de comprimento de ondas determinado e, posteriormente, são realizadas

análises tradicionais para determinação do composto estudado nas respectivas amostras. Por meio de combinações matemáticas, são estabelecidas correlações entre os espectros e os resultados das análises, sendo possível a predição do teor do composto em questão em qualquer amostra do mesmo produto (SIESLER, 2008).

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi estimar os parâmetros genéticos de acessos elite de café conilon sob irrigação no Cerrado em dois anos consecutivos, com base nas características bioquímicas dos grãos avaliadas por meio de espectroscopia do infravermelho próximo.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

O trabalho foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados utilizando a coleção elite da unidade. Foram avaliados 18 genótipos de café conilon, oriundos de seleções realizadas anteriormente em cruzamentos naturais da cultivar Robusta Tropical (EMCAPA 8151) (FERRÃO et al., 2000) no campo experimental da Embrapa.

A coleção elite foi implantada em novembro de 2017 no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal, situado a 15°35'57" de latitude Sul, 47°42'38" de longitude Oeste e à altitude de 1.007 m, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, argiloso, e irrigado por pivô central. O clima da região é classificado como Aw de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger.

O manejo da irrigação foi baseado no Programa de Monitoramento de Irrigação do Cerrado proposto por Rocha et al. (2008) e para uniformização da florada, foi utilizado manejo de estresse hídrico sugerido por Guerra et al. (2005).

No preparo do solo foi feita calagem com duas toneladas de calcário dolomítico por hectare, divididas em doses iguais, uma antes da aração e outra antes da gradagem, visando aumento da saturação de bases para 60%, juntamente com a aplicação de duas toneladas de gesso agrícola. No plantio foram adicionados, por berço, 120 g de superfosfato triplo, 50 g de termofosfato magnesiano (Yoorin®) e 24,5 g de micronutrientes (FTE BR 12). A adubação de manutenção foi feita com 450 kg ha<sup>-1</sup> de N com ureia, 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com cloreto de potássio, aplicados em quatro parcelas iguais em setembro, dezembro, fevereiro e março, 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com superfosfato simples como fonte, sendo dois terços aplicados em setembro e um terço em dezembro.

O espaçamento utilizado foi de 3,5 m entre linhas e 1,0 m entre plantas, com os clones agrupados por genótipo, contendo até 10 plantas, sem delineamento experimental (Figura 3), sendo utilizadas três plantas por genótipo para coleta de dados.

A colheita foi realizada manualmente durante os meses de junho e julho de 2020 e 2021 sendo coletados apenas os frutos no estágio cereja para a análise dos componentes químicos. Os frutos depois de colhidos foram imediatamente processados por via seca, em terreiro convencional, sendo revolvidos diariamente para secagem uniforme. A umidade dos frutos foi monitorada semanalmente com um medidor de umidade de grãos Multi-Grain™ da marca DICKEY-john. No momento em que os frutos atingiram 11% de umidade foram recolhidos do terreiro em sacos de papel.

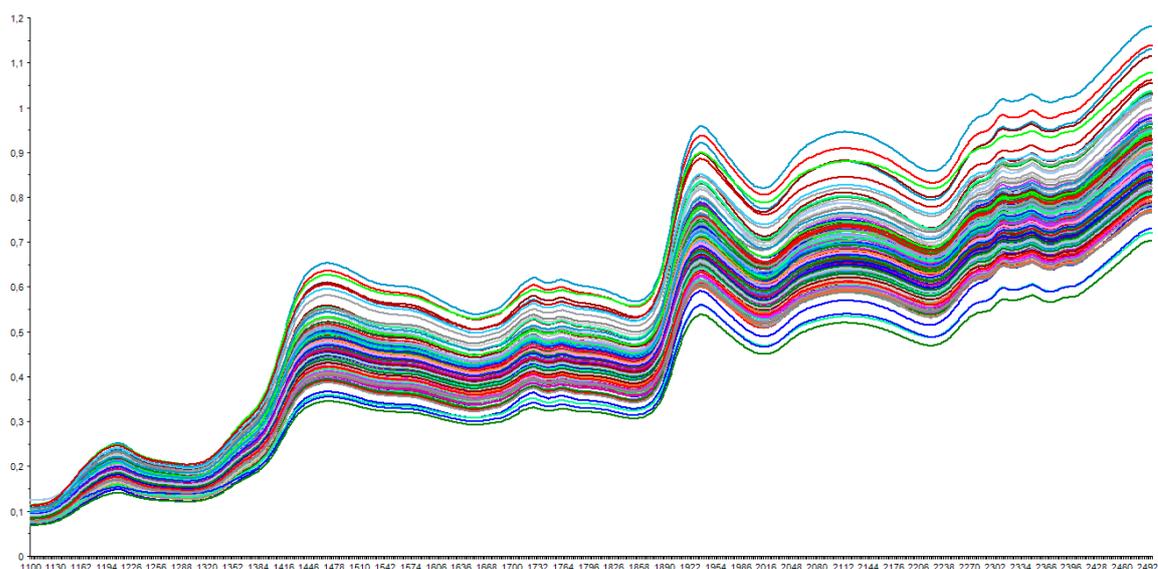
As amostras foram levadas individualmente para o beneficiamento utilizando um descascador de amostras modelo PA-AMO/300 da marca Palini & Alves, onde foram separados a casca e o pergaminho dos grãos. Foram retirados os defeitos e as amostras de café beneficiado foram então acondicionadas em sacos de papel e armazenadas em câmara fria a 5 °C. A determinação da umidade foi realizada com aparelho GEHAKA G610i.

As análises dos componentes químicos foram realizadas por meio de Espectroscopia do Infra Vermelho Próximo – NIRS com as amostras preparadas.

Antes da coleta dos espectros, os grãos foram moídos em moinho de martelo, peneirados em peneira de 20 *mesh* e secos em estufa a 40°C até seu peso permanecer constante.

Os espectros das amostras de café foram então coletados utilizando um espectrofotômetro da marca FOSS (Figura 7). As amostras foram analisadas por reflectância na faixa espectral compreendida entre 1108 nm e 2492,8 nm e os espectros foram obtidos de médias de três varreduras com o programa de espectroscopia ISIScan versão 2.85 (Infrasoft International LLC, State College, PA, USA).

A partir da captura dos espectros, foram preditos os teores de ácido clorogênico (ácido cafeilquínico – 5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina.



**Figura 7.** Espectros de amostras de café cru moído coletados por Espectroscopia do infravermelho próximo – NIRS, por meio da reflectância na faixa espectral compreendida entre 1108 nm e 2492,8 nm programa de espectroscopia ISIScan versão 2.85.

Foi realizada análise de variância em esquema de parcelas subdivididas no tempo, sendo considerados os genótipos, os anos e a interação (Tabela 5). Os genótipos foram considerados como parcela e os anos como subparcela. Na natureza do modelo os genótipos foram considerados fixos e os anos considerados aleatórios. A fonte de variação parcela foi considerada fixa e subparcela considerada aleatória e foi utilizado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + \varepsilon_{ij} + A_k + GA_{ik} + \delta_{ijk}$$

onde:

$Y_{ijk}$  = é o valor observado relativo da característica do i-ésimo genótipo na j-ésima repetição no k-ésimo ano;

$\mu$  = média geral;

$G_i$  = efeito do i-ésimo genótipo ( $i = 1, 2, \dots, g$ );

$\varepsilon_{ij}$ , = erro aleatório a

$A_k$  = efeito do k-ésimo ano ( $k = 1, 2, \dots, a$ )

$GA_k$  = efeito da interação do i-ésimo genótipo com o k-ésimo ano

$\delta_{ijk}$  = erro aleatório b

**Tabela 5.** Esquema da análise de variância de um modelo de delineamento inteiramente casualizado com interação de primeira ordem, com as esperanças dos quadrados médios e teste F para as fontes de variação, considerando efeitos fixos dos genótipos, efeitos aleatórios dos anos e interação genótipo x ano.

FV	GL	QM	E (QM)	F
Genótipo (G)	$g - 1$	QMG	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2 + r \frac{g}{g-1} \sigma_{ga}^2 + ra\Phi_g$	$\frac{QMG + QMEb}{QMGA + QMEa}$
Erro a	$(r-1)(g-1)$	QMEa	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2$	
Ano	$a - 1$	QMA	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + rg\sigma_{\varepsilon a}^2$	$\frac{QMA}{QMEb}$
G x A	$(g-1)(a-1)$	QMGA	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + r \frac{p}{p-1} \sigma_{ga}^2$	$\frac{QMGA}{QMEb}$
Erro b	$(g-1)(r-1)$	QMEb	$\sigma_{\varepsilon b}^2$	
Total	$gar - 1$			

Os componentes de variância de genótipo, de ano e da interação, assim como a herdabilidade e os coeficientes de variação genético ( $CV_g$ ) e ambiental ( $CV_e$ ) em nível de genótipo e ano, foram calculados pelas seguintes expressões:

Componente de variância genética – efeito de genótipo:

$$\hat{\Phi}_g = \frac{QMG + QMEb - QMEa - QMGA}{ra};$$

Componente de variância genética – efeito de ano:

$$\hat{\sigma}_a^2 = \frac{QMA - QMEb}{rg};$$

Componente de variância da interação genótipo x ano:

$$\hat{\sigma}_{ga}^2 = \frac{(QMGA - QMEb)}{r} \cdot \frac{g-1}{g};$$

Herdabilidade considerando o efeito genético na parcela:

$$H^2 = \frac{\hat{\Phi}_g}{QMG/ra};$$

Herdabilidade considerando o efeito genético na subparcela:

$$H^2 = \frac{\hat{\sigma}_a^2}{QMA/ra};$$

Coeficiente de variação ambiental:

$$CV_e(\%) = \frac{100\sqrt{QME}}{m};$$

Coeficiente de variação genético:

$$CV_g(\%) = \frac{100\sqrt{\Phi_g^2}}{m};$$

onde  $m$  = média do caractere;

Coeficiente de variação relativo:

$$CV_r = \frac{CV_g}{CV_e};$$

Acurácia seletiva:

$$\hat{r}_{\hat{g}g} = \sqrt{1 - 1/F}$$

As médias foram agrupadas por meio do teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade.

Todas as análises genético-estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa GENES (CRUZ, 2013).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (Tabela 6) evidenciou não haver diferença entre os genótipos para os teores de ácido clorogênico (5-ACQ) e ácido cítrico, mas para os teores de sacarose, cafeína e trigonelina houve diferença, o que mostra que há diversidade genética para estas características entre os genótipos avaliados.

**Tabela 6.** Quadrados médios da análise em esquema de parcelas subdivididas, valores de F e estimativa de parâmetros genéticos dos teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina, todos em porcentagem, de grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

FV	GL	QM				
		5-ACQ	CAFEÍNA	SACAROSE	ÁCIDO CÍTRICO	TRIGONELINA
<b>Genótipo</b>	17	0,3398 <sup>ns</sup>	0,1450 <sup>**</sup>	1,2917 <sup>*</sup>	0,1555 <sup>ns</sup>	0,1384 <sup>**</sup>
<b>Erro a</b>	36	0,0792	0,0087	0,1526	0,0309	0,0251
<b>Ano</b>	1	2,9107 <sup>**</sup>	3,2691 <sup>**</sup>	32,2647 <sup>**</sup>	2,1028 <sup>**</sup>	2,0015 <sup>**</sup>
<b>G x A</b>	17	0,3376 <sup>**</sup>	0,0226 <sup>*</sup>	0,4767 <sup>**</sup>	0,0807 <sup>ns</sup>	0,0295 <sup>ns</sup>
<b>Erro b</b>	36	0,1223	0,0103	0,1389	0,0487	0,0272
<b>F GENÓTIPO</b>		1,1085	4,4958	2,2735	1,8293	3,0302
<b>F ANO</b>		23,7949	318,449	232,2478	43,2063	73,6851
<b>F G x A</b>		2,7601	2,2019	3,4313	1,6857	1,0861
<b>Média</b>		4,3258	2,1383	4,7950	0,6626	1,2345
<b>CV<sub>e</sub> GENÓTIPO (%)</b>		6,5073	4,3650	8,1458	26,5231	12,8399
<b>CV<sub>e</sub> ANO (%)</b>		8,0851	4,7383	7,7731	33,2933	13,3505
$\hat{\Phi}_g$		0,0075	0,0207	0,1336	0,0154	0,0185
$\hat{\sigma}_a^2$		0,0516	0,0603	0,5949	0,0380	0,0366
$\hat{\sigma}_{ga}^2$		0,0678	0,0039	0,1063	0,0101	0,0007
<b>CV<sub>g</sub> (%)</b>		2,0068	6,7218	7,6217	18,7438	11,0128
<b>CV<sub>r</sub> GENÓTIPO</b>		0,3084	1,5399	0,9357	0,7067	0,8577
<b>CV<sub>r</sub> - ANO</b>		0,2482	1,4186	0,9805	0,5630	0,8249
<b>H<sup>2</sup> (média) (%)</b>		13,3088	85,4831	62,0400	59,5216	80,1514
$\hat{r}_{\hat{g}g}$		0,3128	0,8818	0,7484	0,6733	0,8185

<sup>ns</sup> não significativo a 5% de probabilidade; <sup>\*</sup>significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; <sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

CV<sub>e</sub> = coeficiente de variação ambiental;  $\hat{\Phi}_g$  = componente de variância genética (efeito da parcela – genótipo);  $\hat{\sigma}_a^2$  = componente de variância genética (efeito da subparcela – ano);  $\hat{\sigma}_{ga}^2$  = componente de variância da interação genótipo x ano; CV<sub>g</sub> = coeficiente de variância genético; CV<sub>r</sub> = coeficiente de variação relativo (CV<sub>g</sub>/CV<sub>e</sub>); H<sup>2</sup> = coeficiente de determinação ou herdabilidade;  $\hat{r}_{\hat{g}g}$  = acurácia seletiva.

Nas avaliações realizadas nos dois anos, houve diferença para todas as características avaliadas. Infere-se, portanto, que o fator ambiente foi determinante na composição química do café para os componentes avaliados entre os genótipos avaliados e nos anos avaliados. Gichimu et al (2014) obteve resultados e inferências semelhantes ao avaliar a composição bioquímica de cafés arábicas cultivados no Kenya.

Houve também interação das fontes de variação genótipo e ano para os teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína e sacarose, enquanto não houve interação para

os teores de ácido cítrico e trigonelina. A composição química do café pode depender, além de fatores culturais como colheita, pós-colheita, processamento, métodos de secagem (Linda et al, 2023), de fatores genéticos e ambientais durante o ciclo de desenvolvimento da planta (Pimenta et al, 2018). As expressões dos elementos climáticos em cada ano (Figura 8) contribuem para o efeito da interação entre as fontes de variação o que culmina em maior variabilidade fenotípica.

O efeito desta interação acontece em decorrência do comportamento diferencial dos genótipos nos dois anos e pode apontar que os melhores genótipos em um ano podem não ser no outro (Resende, 2007).

Para a avaliação da qualidade experimental, o valor de F, assim como a acurácia seletiva, são utilizados como indicadores de precisão experimental, pois contemplam não só o coeficiente de variação experimental ( $CV_e$ ) mas também o número de repetições e o coeficiente de variação genético ( $CV_g$ ) (Resende, 2007). Valores de F de experimentos de avaliação genotípica devem superiores a 2,0, levam a maior acurácia seletiva, acima de 0,7, categoria alta de precisão (Resende e Duarte, 2007), o que foi observado entre genótipos para os teores de sacarose, cafeína e trigonelina.

A herdabilidade é expressa pela razão entre a variação genética e a variação fenotípica, ou seja, a confiabilidade do fenótipo em expressar o genótipo, o que permite maior eficiência na seleção. Cheserek et al (2022), avaliaram em cafés canéforas, arábicas e híbridos de diversas origens, os teores de cafeína, sacarose e trigonelina e encontraram valores de herdabilidade de 90,8%, 88,3% e 68%. No presente estudo, foram estimados valores de herdabilidade média de 85,5%, 62%, 60% e 80% para cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina, respectivamente, indicando que estes compostos, portanto, podem ser considerados na escolha na seleção de genótipos dentro da população avaliada dentre os anos avaliados.

O coeficiente de variação genético permite deduzir a variabilidade genética entre os tratamentos da população avaliada. Dessa forma, o coeficiente de variação genético maior que o coeficiente de variação ambiental, para um determinado caractere, sugere uma situação mais favorável para o melhoramento genético vegetal (Amabile, 2013), situação verificada para o teor de cafeína, cujo coeficiente de variação relativo foi superior a 1.

A cafeína já é alvo de programas de melhoramento de café seja visando a obtenção de cafés com baixos teores de cafeína, resultando em menor amargor na bebida, seja para a obtenção de genótipos com maior conteúdo do alcaloide, buscando um café de bebida mais amarga e “fortes”. O teor de cafeína contido nos grãos é influenciado não só pela genética da planta (entre ou dentro de espécies de café) assim como por fatores ambientais como luminosidade e altitude (Cheng et al, 2016; Perrois et al, 2015) e em razão do ano, o que pode ser observado a partir da análise (Tabela 6) e pelo agrupamento de médias (Tabela 7), evidenciando diferença entre os genótipos em cada ano e entre os anos.

Os genótipos com menores teores de cafeína em 2020 foram os L1L4P139 (1), L2L28P100 (11), L2L21P20 (12), L2L2P24 (16) e L4L21P20 (34). Já para 2021 os genótipos com os menores teores de cafeína foram L1L4P139 (1), L2L28P100 (11), L2L21P20 (12), L3L13P39 (19) e L4L21P20 (34) (Tabela 7). Estes valores de cafeína encontrados estão de acordo com a literatura, sendo que a média dos dois anos foi abaixo do encontrado por Fonseca et al (2011) que obteve média de 2,64% e os encontrados por Cheserek et al, (2022) que variaram de 1,3% a 2,6%.

**Tabela 7.** Médias dos teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon cultivados em sistema irrigado no Cerrado, em dois anos consecutivos. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2023.

Nomes genótipos	5-ACQ (%)		CAFEÍNA (%)		SACAROSE (%)		ÁCIDO CÍTRICO (%)		TRIGONELINA (%)	
	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021	2020	2021
1 L1 L4 P139	4,140 Bb	5,280 Aa	1,787 Bc	2,015 Ac	4,642 Ab	3,947 Bc	0,730 Ab	0,725 Aa	1,159 Ab	1,122 Ab
7 L1 L7 P80	4,363 Ab	4,163 Ac	2,053 Bb	2,540 Aa	5,514 Aa	4,464 Bb	0,508 Ab	0,415 Aa	1,330 Ab	1,195 Aa
9 L2 L2 P42	4,477 Ab	4,157 Ac	1,927 Bb	2,260 Ab	4,754 Ab	4,833 Ab	0,754 Ab	0,436 Aa	1,214 Ab	1,025 Ab
11 L2 L28 P100	4,210 Ab	4,050 Ac	1,777 Bc	2,180 Ac	4,273 Ab	3,704 Ac	0,697 Ab	0,431 Aa	1,315 Ab	1,084 Ab
12 L2 L21 P20	4,553 Ab	3,655 Bc	1,717 Bc	2,150 Ac	4,967 Ab	3,629 Bc	0,660 Ab	0,127 Ba	1,144 Ab	0,856 Bb
13 L2 L6 P35	4,510 Ab	3,933 Bc	1,980 Bb	2,413 Aa	4,961 Ab	3,560 Bc	0,941 Aa	0,585 Ba	1,433 Ab	1,082 Bb
14 L2 L25 P123	5,167 Aa	4,595 Bb	1,920 Bb	2,385 Aa	4,921 Ab	3,995 Bc	1,029 Aa	0,452 Ba	1,522 Aa	1,210 Ba
15 L2 L8 P42	4,140 Ab	4,250 Ac	2,050 Bb	2,253 Ab	5,838 Aa	4,383 Bb	0,961 Aa	0,412 Ba	1,368 Ab	1,025 Bb
16 L2 L2 P24	4,437 Ab	4,475 Ab	1,697 Bc	2,220 Ab	6,451 Aa	4,462 Bb	0,716 Ab	0,935 Aa	1,415 Ab	1,260 Aa
17 L2 L16 P51	4,283 Ab	4,050 Ac	2,140 Ba	2,447 Aa	5,552 Aa	3,684 Bc	0,532 Ab	0,513 Aa	1,327 Ab	1,062 Ab
19 L3 L13 P39	4,887 Aa	4,217 Bc	1,940 Bb	2,160 Ac	5,396 Aa	4,461 Bb	0,811 Ab	0,648 Aa	1,331 Ab	1,048 Bb
20 L3 L19 P28	4,657 Aa	4,137 Ac	1,980 Bb	2,307 Ab	5,413 Aa	3,775 Bc	0,535 Ab	0,318 Aa	1,332 Ab	0,921 Bb
22 L3 L16 P6	4,843 Aa	3,945 Bc	2,260 Ba	2,575 Aa	5,835 Aa	4,636 Bb	1,226 Aa	0,700 Ba	1,789 Aa	1,421 Ba
23 L3 L16 P112	4,495 Ab	4,043 Ac	2,040 Bb	2,280 Ab	5,957 Aa	4,688 Bb	1,060 Aa	0,459 Ba	1,609 Aa	1,044 Bb
25 L3 L16 P51	4,437 Ab	4,107 Ac	1,957 Bb	2,463 Aa	5,573 Aa	3,964 Bc	0,957 Aa	0,692 Aa	1,388 Ab	1,112 Bb
30 L4 L11 P55	3,985 Ab	3,973 Ac	2,315 Aa	2,423 Aa	5,418 Aa	4,818 Ab	0,538 Ab	0,361 Aa	1,252 Ab	1,032 Ab
31 L4 L25 P123	4,870 Aa	4,243 Bc	2,013 Bb	2,490 Aa	5,698 Aa	5,606 Aa	0,793 Ab	0,683 Aa	1,495 Aa	1,488 Aa
34 L4 L21 P20	4,367 Ab	3,637 Bc	1,807 Bc	2,060 Ac	4,987 Ab	3,864 Bc	0,992 Aa	0,526 Ba	1,250 Ab	0,784 Bb

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os ganhos de seleção para os teores de compostos bioquímicos avaliados foram de -0,466% para ácido clorogênico, -6,879% para cafeína, 5,582% para sacarose, 10,014% para ácido cítrico e 8,275% para trigonelina (Tabela 8).

**Tabela 8.** Estimativas de herdabilidade ( $H^2$ ), ganho de seleção específico (GS), média da população original ( $X_o$ ) e média da população melhorada ( $X_s$ ) para teores de ácido clorogênico (5-ACQ), cafeína, sacarose, ácido cítrico e trigonelina avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema irrigado no Cerrado em 2020 e 2021. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2023.

	5-ACQ	Cafeína	Sacarose	Ácido cítrico	Trigonelina
<b>X<sub>o</sub></b>	4,326	2,138	4,795	0,662	1,235
<b>X<sub>s</sub></b>	4,175	1,966	5,227	0,774	1,362
<b>H<sup>2</sup></b>	0,133	0,855	0,620	0,595	0,802
<b>DS</b>	-0,151	-0,172	0,432	0,112	0,128
<b>GS</b>	-0,020	-0,147	0,268	0,066	0,102
<b>GS %</b>	-0,466	-6,879	5,582	10,014	8,275

5-ACQ = ácido 5-cafeoilquínico

A seleção para os teores de ácido clorogênico e cafeína é feita com base nos menores teores destes compostos, pois contribuem com características indesejadas na bebida, portanto os valores de ganho de seleção negativos. Apesar de os valores serem representativos para sacarose, ácido cítrico e trigonelina, somente para cafeína seria possível obter ganhos reais de seleção, uma vez que o coeficiente de variação genético foi maior que o coeficiente de variação ambiental.

#### 4. CONCLUSÕES

Os genótipos avaliados apresentam variabilidade genética quanto aos teores de cafeína, sacarose e trigonelina.

A interação significativa genótipo x ano, observados em relação aos teores de ácido clorogênico, cafeína e sacarose, evidencia que o ambiente influencia a expressão destas características.

Dentre os compostos bioquímicos avaliados, a cafeína se mostra uma característica que pode ser utilizada com sucesso para seleção de genótipos superiores.

É possível obter ganhos reais de seleção para a característica química cafeína.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMABILE, R. F. **Caracterização molecular, morfoagronômica e de qualidade de grãos de genótipos elite de cevada irrigada no Cerrado**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CHESEREK, J. J., NGUGI, K., MUTHOMI, J. W., OMONDI, C. O., E KATHURIMA, C. W. Genetic Variability and Correlation of Biochemical and Sensory Characteristics of Coffee. **Journal of Agricultural Science**, v. 14, n. 2, p. 95, 2022.

CRUZ, C. D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

FARAH, A. **Coffee as a speciality and functional beverage**. In: Functional and speciality beverage technology (pp. 370-395). Woodhead Publishing. (2009).

FERRÃO, R. G., VOLPI, P., SENRA, J. D. B., COMÉRIO, M., FERRÃO, M., VERDIN FILHO, A. C., & da FONSECA, A. F. A. (2023). Comportamento e a variabilidade genética entre clones de café conilon em ambientes representativos e não irrigados do Espírito Santo. **Multi-Science Research**, v. 5, n. 2, p. 06-21. DOI: 10.47621/M-SR.2022. v.5.n.2.06.062

FONSECA, A. F. A. D., SALVA, T. D. J. G., FERRÃO, M. A. G., FERRÃO, R. G., VOLPI, P. S., VERDIN FILHO, A. C., & GUARÇONI, R. Composição química de café conilon (*Coffea canephora*). In: VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Araxá, MG. **Anais...** Brasília: DF. EMBRAPA CAFÉ – Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, 2011.

GICHIMU, B. M., GICHURU, E. K., MAMATI, G. E., & NYENDE, A. B. Biochemical Composition within *Coffea arabica* cv. Ruiru 11 and its Relationship with Cup Quality. **Journal of Food Research**, v. 3, n. 3, p. 31-44, 2014. DOI: 10.5539/jfr.v3n3p31

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; SILVA, H.C.; ARAÚJO, M.C. de. **Irrigação do Cafeeiro no Cerrado**: estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 4p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 122).

LINDA, M., BASTIAN, F., MAHENDRADATTA, M., TAWALI, A. B., & LAGA, A. The effect of several postharvest processing on the quality of Robusta Coffee (*Coffea canephora*). **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 1200, n.1, p. 012011, 2018. DOI: 10.1088/1755-1315/1200/1/012011

PERROIS C, STRICKLER SR, MATHIEU G, LEPELLEY M, BEDON L, MICHAUX S, HUSSON J, MUELLER L, PRIVAT I. Differential regulation of caffeine metabolism in *Coffea arabica* (Arabica) and *Coffea canephora* (Robusta). **Planta**, v. 241, n. 1, p. 179-91, 2015. DOI: 10.1007/s00425-014-2170-7

PIMENTA, C. J., ANGÉLICO, C. L., E CHALFOUN, S. M. Challenges in coffee quality: Cultural, chemical and microbiological aspects. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 337-349, 2018. DOI: 10.1590/1413-70542018424000118

Resende, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa Florestas, 2007. 362p.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p. 182-194, 2007.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; SILVA, F. A. M.; MACHADO JÚNIO, J. R. R.; ARAÚJO, M. C.; SILVA, H. C. Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no Cerrado. In: VIII Simpósio brasileiro de pesquisa em cafeicultura irrigada, 2006, Araguari. **VIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada**. Viçosa: UFV, 2006. p. 61-64.

SIESLER, H. W.; OZAKI, Y.; KAWATA, S.; HEISE, H. M. **Near-infrared spectroscopy**: principles, instruments, applications. Weinheim, John Wiley & Sons, 2008. 361p.

Tran, H. T., Lee, L. S., Furtado, A., Smyth, H., & Henry, R. J. (2016). Advances in genomics for the improvement of quality in coffee. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 96, n. 10, p. 3300-3312. DOI: 10.1002/jsfa.7692

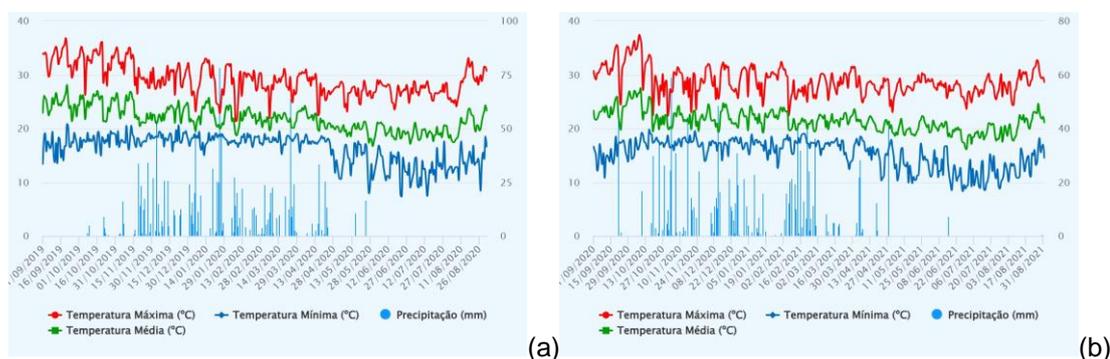
VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496p.

## ANEXO II

**Tabela 9.** Dados climatológicos da estação meteorológica automática principal da Embrapa Cerrados entre os meses de setembro e agosto de dois anos. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

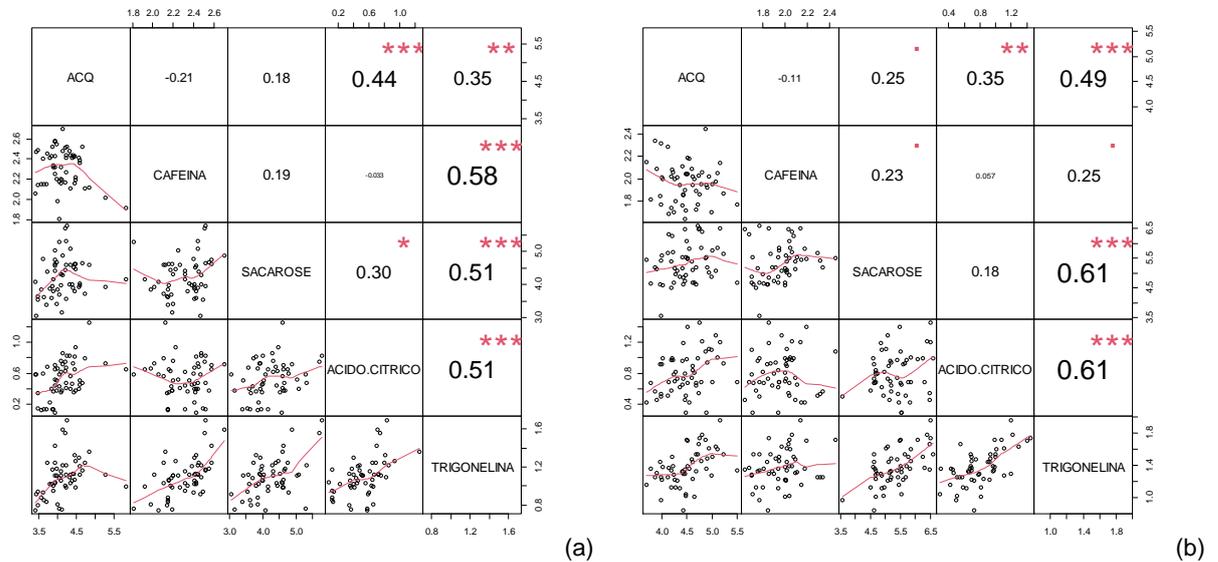
Ano	T máxima	T mínima	T média	Precipitação
	média °C	média °C	média °C	Total mm
2019/20	29,06	16,17	21,78	1359,9
2020/21	28,76	15,23	21,34	1233,8

T = temperatura do ar

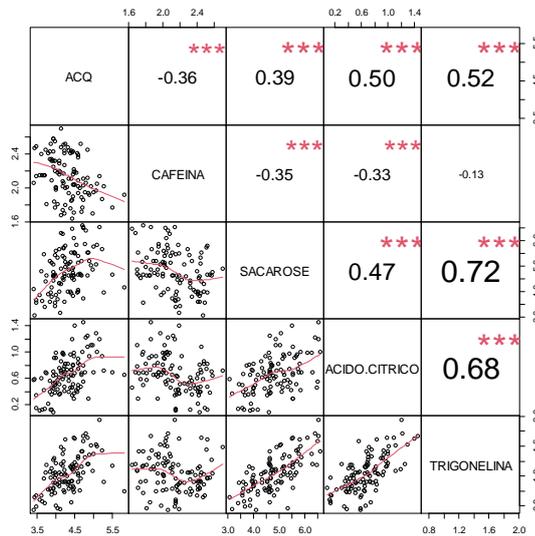


**Figura 8.** Dados climatológicos da estação meteorológica automática principal da Embrapa Cerrados dos dias 01/09/2019 a 31/08/2020 (a) e dos dias 01/09/2020 a 31/08/2021 (b). Planaltina, Distrito Federal, 2023.

### ANEXO III



**Figura 9.** Correlação entre componentes bioquímicos avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, colhidos em 2020 (a) e em 2021 (b), determinados por meio de espectroscopia do infravermelho próximo. Planaltina, Distrito Federal, 2023.



**Figura 10.** Correlação entre componentes bioquímicos avaliados em grãos crus de 18 genótipos de café conilon em sistema de cultivo irrigado no Cerrado, colhidos em 2020 e 2021 e determinados por meio de espectroscopia do infravermelho próximo. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

## **CAPÍTULO III**

**CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E QUALIDADE QUÍMICA DE  
CLONES DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO**

**MORPHOAGRONOMIC CHARACTERIZATION AND CHEMICAL QUALITY OF  
CONILON COFFEE CLONES IN AN IRRIGATE SYSTEM IN THE CERRADO**

## CARACTERIZAÇÃO MORFOAGRONÔMICA E QUALIDADE QUÍMICA DE CLONES DE CAFÉ CONILON EM SISTEMA IRRIGADO NO CERRADO

### RESUMO

O café canéfora vem se destacando na cafeicultura nacional devido ao seu alto potencial produtivo, adaptabilidade e pelo potencial na qualidade de bebida. Genótipos e clones de café canéfora produtivos e com qualidade sensorial adaptados ao sistema irrigado no Cerrado são demandas iminentes aliadas à inovação tecnológica. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar clones de café conilon com base em características agrônômicas e químicas dos grãos e auxiliar a seleção de materiais promissores para serem utilizados no programa de melhoramento genético do café conilon irrigado no Cerrado. Foram avaliados nos anos safra 2019/20 e 2020/21, 33 e 35 genótipos de café conilon, respectivamente, quanto à produtividade, características morfoagronômicas e teores de ácido clorogênico, sacarose, cafeína, ácido cítrico e trigonelina nos grãos crus. Os dados foram submetidos a análise de *cluster* com base na matriz de distâncias genéticas Canberra e o agrupamento feito pelo método Ward. As médias foram submetidas a análise univariada não paramétrica de Kruskal-Wallis. No primeiro ano, foram definidos 5 grupos, sendo o grupo G1 o que apresentou melhores números de rank para as características avaliadas. No segundo ano, foram definidos 6 grupos, destacando-se os grupos G6 para características morfoagronômicas aliadas à produtividade e G5 em relação aos teores dos compostos químicos avaliados aliadas à produtividade e características físicas dos grãos. Os genótipos L3.L16.P6 (22) e L4.L25.P123 (31) se revelam materiais promissores dentro do programa de melhoramento genético de café conilon irrigado no Cerrado.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, melhoramento vegetal, análise não paramétrica.

## MORPHOAGRONOMIC CHARACTERIZATION AND CHEMICAL QUALITY OF CONILON COFFEE CLONES IN AN IRRIGATE SYSTEM IN THE CERRADO

### ABSTRACT

*Coffea canephora* has been standing out in the national coffee culture due to its high productive potential, adaptability and beverage quality potential. Productive canephora coffee genotypes with sensory quality adapted to the irrigated system in the Cerrado are imminent demands allied to technological innovation. In this context, the objective of this work was to characterize clones of conilon coffee based on agronomic and chemical characteristics of the beans to assist in the selection of promising materials to be used in the genetic improvement program of irrigated conilon coffee in the Cerrado. In the 2019/20 and 2020/21 harvest years, 33 and 35 genotypes of conilon coffee were evaluated, respectively, regarding productivity, morphoagronomic characteristics and contents of chlorogenic acid, sucrose, caffeine, citric acid and trigonelline in the raw beans. Data were subjected to cluster analysis based on the Canberra genetic distance matrix and grouping performed by the Ward method. Means were submitted to non-parametric Kruskal-Wallis univariate analysis. In the first year, 5 groups were defined. G1 group had the best rank numbers for the evaluated characteristics. In the second year, 6 groups were defined, highlighting the groups G6 for morphoagronomic characteristics allied to productivity and G5 in relation to the contents of the evaluated chemical compounds allied to the productivity and physical characteristics of the grains. The L3.L16.P6 (22) and L4.L25.P123 (31) genotypes are proving to be promising materials within the breeding program of irrigated conilon coffee in the Cerrado.

**Key words:** *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, plant breeding, nonparametric analysis.

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil aponta no cenário mundial, por ser o maior produtor de café do mundo e o segundo em produção de cafés canéforas (CONAB, 2023, USDA, 2023). Dentre as espécies de café produzidas em nível comercial, o café canéfora (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) vem se destacando no cenário da cafeicultura nacional principalmente devido ao seu alto potencial produtivo, capacidade de adaptação a novos ambientes e, mais recentemente, pelo potencial na qualidade de bebida.

Atualmente, diversos estudos vêm sendo direcionados à introdução do café canéfora em locais antes considerados inaptos ao seu cultivo seja se mostrando como uma alternativa aos produtores de café arábica por já possuírem estrutura de colheita e pós-colheita, seja como uma inovação para regiões de altitudes e condições edafoclimáticas diferentes àquelas onde a cultura já é estabelecida, como é o caso do Cerrado Central (Campuzano-Duque e Blair, 2022; Brige et al, 2019; Santin et al, 2019; Rodrigues et al, 2016).

As condições edafoclimáticas dos Cerrados permitem a produção de cafés de ótima qualidade pois o período de colheita coincide com a estiagem do meio do ano, o que diminui as chances de fermentações indesejadas principalmente durante a secagem (Souza et al, 2017). Somado a essa condição à possibilidade de irrigação e uso de tecnologias desenvolvidas para a região como o estresse hídrico controlado para sincronização de florada, que aumenta as chances de maior quantidade de frutos no estágio cereja na ocasião de colheita (Guerra et al, 2005), sendo que as melhorias no sistema de produção de café irrigado no Cerrado podem ser percebidas também pela redução de grãos malformados e redução do custo de colheita.

Contudo, o montante de informações sobre a tecnologia de produção do café canéfora no Cerrado ainda necessita de estudos em diversas áreas de conhecimento técnico-científico, principalmente, em relação ao melhoramento genético. Genótipos e clones mais produtivos, com melhores características agrônomicas e maior quantidade de componentes químicos relacionados à qualidade e adaptados ao sistema irrigado vem sendo estudados (Santin et al, 2023; Brige et al, 2019) e são demandas iminentes aliadas à inovação tecnológica e a busca dos produtores. Portanto, é primordial mais conhecimento sobre os genótipos de café canéfora, sobretudo considerando genótipos elite desenvolvidos em programas de melhoramento genético.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi caracterizar clones de café conilon com base em características agrônômicas e químicas dos grãos e, por meio de análise multivariada e ferramentas de análise não paramétricas, auxiliar a seleção de materiais promissores para qualidade e competitividade a serem utilizados no programa de melhoramento genético do café conilon irrigado no Cerrado.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

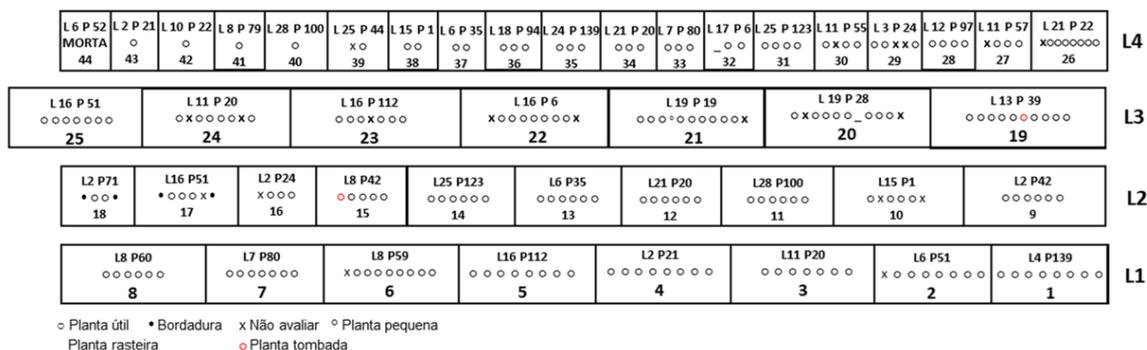
O trabalho foi realizado no campo experimental e no Laboratório de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Embrapa Cerrados. Foram avaliados clones da coleção elite de café canéfora, variedade botânica Conilon. A coleção tem origem a partir de uma introdução de 3.500 mudas seminais originadas de um campo de produção de sementes da cultivar Robusta Tropical (EMCAPA 8151) (FERRÃO et al., 2000), cultivados no Incaper – ES.

Após um primeiro ciclo de seleção na unidade, os genótipos clonados foram implantados em fevereiro de 2017 no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal, situado a 15°35'57" de latitude Sul, 47°42'38" de longitude Oeste e à altitude de 1.007 m, em um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico, argiloso, e irrigado por pivô central. O clima da região é classificado como Aw de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger.

O manejo da irrigação foi baseado no Programa de Monitoramento de Irrigação do Cerrado proposto por Rocha et al. (2008) e para uniformização da florada, foi utilizado manejo de estresse hídrico sugerido por Guerra et al. (2005).

No preparo do solo foi feita calagem com duas toneladas de calcário dolomítico por hectare, divididas em doses iguais, uma antes da aração e outra antes da gradagem, visando aumento da saturação de bases para 60%, juntamente com a aplicação de duas toneladas de gesso agrícola. No plantio foram adicionados, por berço, 120 g de superfosfato triplo, 50 g de termofosfato magnesiano (Yoorin®) e 24,5 g de micronutrientes (FTE BR 12). A adubação de manutenção foi feita com 450 kg ha<sup>-1</sup> de N com ureia, 450 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O com cloreto de potássio, aplicados em quatro parcelas iguais em setembro, dezembro, fevereiro e março, 300 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com superfosfato simples como fonte, sendo dois terços aplicados em setembro e um terço em dezembro.

Foram plantados no campo experimental 43 genótipos (Figura 11), no espaçamento de 3,5 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, com parcelas variando entre 1 a 10 plantas clonadas, em delineamento inteiramente ao acaso. Para as avaliações foram escolhidas ao acaso até três plantas de cada genótipo.



**Figura 11.** Croqui da disposição de clones de café conilon em sistema de cultivo irrigado em campo experimental implantados em novembro de 2017. Embrapa Cerrados, Planaltina, Distrito Federal, 2023.

Para a realização das análises morfoagronômicas foram avaliadas nas mesmas plantas, em dois anos seguidos, a altura e o número de nós vegetativos e reprodutivos nos ramos plagiotrópicos, em dezembro de 2019, e a altura de planta, número de nós nos ramos plagiotrópicos, número de ramos plagiotrópicos, comprimento dos ramos plagiotrópicos, comprimento do internódio dos ramos plagiotrópicos e comprimento do internódio do ramo ortotrópico, em dezembro de 2020. As avaliações foram feitas no terço médio utilizando dois ramos plagiotrópicos de cada planta um na face leste e outro na face oeste, utilizando uma trena e um paquímetro, sendo feita a média para fins de análise.

Para as análises de rendimento, renda e para as análises químicas, foram utilizados grãos colhidos nos anos de 2020 e 2021 de forma manual, sendo que para a análise química foram selecionados apenas frutos no estágio cereja. Os frutos depois de colhidos separadamente foram processados por via seca, em terreiro convencional, sendo revolvidos diariamente para secagem uniforme. A umidade dos frutos foi monitorada semanalmente com um medidor de umidade de grãos Multi-Grain™ da marca DICKEY-john. No momento em que os frutos atingiram 11% de

umidade, foram recolhidos do terreiro. Os frutos secos foram acondicionados em sacos de papel e armazenadas em câmara fria a 5°C até o momento das análises.

As amostras foram então pesadas, beneficiadas (descascadas) e pesadas novamente para se determinar o rendimento do café em coco em café beneficiado (renda). A produtividade foi extrapolada de acordo com o espaçamento entre plantas e umidade do grão corrigida para 13% e a renda foi realizada dividindo-se a massa após o beneficiamento pela massa de grãos antes do beneficiamento. A determinação da umidade foi realizada com aparelho GEHAKA G610i.

Para as análises químicas foram retirados os defeitos para diminuir a interferência do efeito ambiental. Posteriormente os grãos de cada amostra foram moídos em moinho de martelo, peneirados em peneira de 20 *mesh* e secos em estufa a 40°C até seu peso permanecer constante para proceder às análises químicas. A partir das amostras preparadas foram determinados os teores de açúcar, cafeína, trigonelina, ácido clorogênico (ácido cafeilquínico – 5-ACQ) e ácido cítrico por meio da Espectroscopia do Infra Vermelho Próximo – NIRS.

Os espectros foram coletados por espectrofotômetro da marca FOSS. As amostras foram analisadas por reflectância na faixa espectral compreendida entre 1108 e 2492,8 nm e os espectros foram obtidos de médias de três varreduras com o programa de espectroscopia ISIScan versão 2.85 (Infrasoft International LLC, State College, PA, USA).

Para a análise dos dados, foram avaliados 33 genótipos no ano safra 2019/20 e 35 genótipos no ano safra 2020/21. No intuito incluir na análise todos os genótipos, inclusive aqueles que não possuem mais de uma planta, foram utilizadas em conjunto as médias de todas as variáveis de todos os genótipos, em cada ano. Os dados foram submetidos a uma análise de *cluster* com base na matriz de distâncias genéticas Canberra, obtida pelo somatório das diferenças entre dois pontos, versão ponderada da distância Manhattan (Lance e Willians, 1966), e foi utilizado como critério de agrupamento o método da mínima variância (Wards).

O momento de parada do algoritmo de aglomeração (corte do dendrograma), com o objetivo de fixar o número de grupos, foi efetuado com base na distância genética média entre os genótipos. Para a estimativa do ajuste entre a matriz de distâncias e o dendrograma gerado, foi calculado o coeficiente de correlação

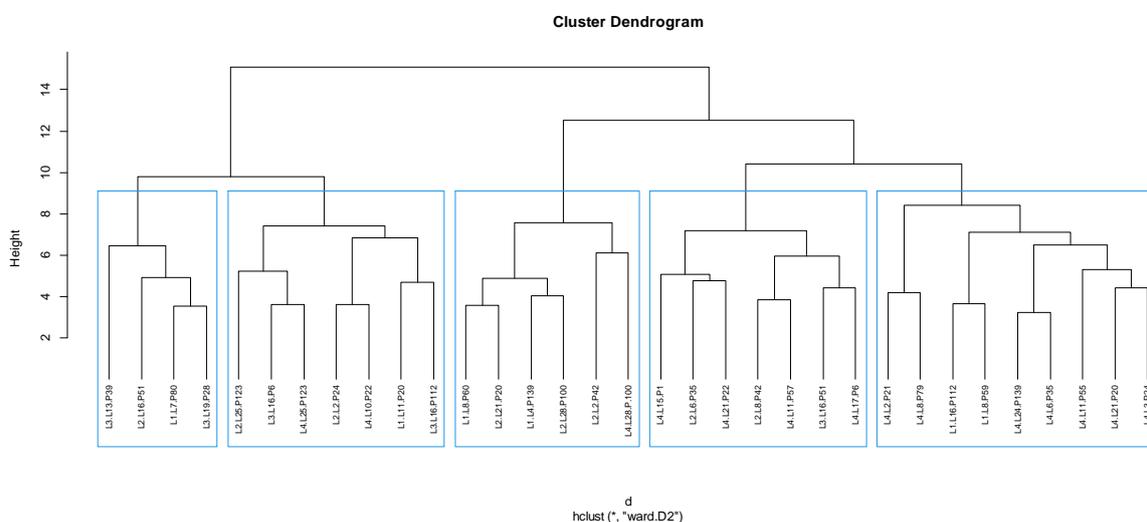
cofenética ( $r$ ) entre as distâncias genéticas originais e aquelas representadas pelo dendrograma entre os pares de genótipos, conforme Sokal & Rohlf (1962).

Após gerados os *clusters*, estes se tornaram uma nova fonte de variação. As médias então foram submetidas a análise univariada não paramétrica de Kruskal-Wallis pois os pressupostos de normalidade e homogeneidade da variância necessários pelo teste F da análise de variância não foram atendidos.

Todas as estatísticas foram realizadas utilizando o programa computacional livre R 4.2.0 (2022), com auxílio dos pacotes *PerformanceAnalytics*, *FactoMineR*, *ExpDes.pt* e *cluster*.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o ano safra 2019/20, a análise de cluster agrupou os 33 genótipos em 5 grupos – G1 (7 genótipos), G2 (9 genótipos), G3 (6 genótipos), G4 (4 genótipos) e G5 (7 genótipos) (Figura 12), sendo o valor do coeficiente de correlação cofenética ( $r$ ) significativo ( $p \geq 0,05$ ), com valor de 0,58 (Figura 1).



**Figura 12.** Análise de agrupamento de 33 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano de 2019/20. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética ( $r$ ) é de 0,58. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

De acordo com o teste de Kruskal-Wallis, todos os grupos obtiveram diferenças significativas entre si para todas as características, exceto para ácido clorogênico (5-ACQ) (Tabela 10).

No aspecto rendimento três grupos (G1, G3 e G4) se destacaram, alcançando maiores valores médios na classificação do teste de Kruskal-Wallis. Os valores de rendimento para o grupo G1 variou entre 6068,66 e 7684,35 kg/ha, para o grupo G3 entre 3684,55 e 9398,55 kg/ha e para o grupo G4 entre 5418,45 e 7999,6 kg/ha. Estes valores são próximos aos encontrados por Busato et al (2022) que ao avaliar o efeito da adubação nitrogenada no rendimento de café conilon no estado do Espírito Santo obteve uma média de 6747 kg/ha em duas colheitas. As médias de rendimento encontrados superam as médias nacionais para os anos de 2022 e 2023 (CONAB, 2023). Isso demonstra o potencial produtivo dos genótipos selecionados baseado em sua adaptação ao novo ambiente irrigado (Partelli et al, 2016) e de maior altitude (Martins et al, 2019).

Os grupos G1 e G4 também se destacaram para a característica RENDA de café beneficiado, obtendo maiores médias, 63,34% e 60,86%, respectivamente, sendo o grupo G1 com maior classificação no rank (Tabela 10). A renda é o resultado da “transformação” do café em coco em café beneficiado. Dessa forma, quanto maior a renda de um lote de café, significa dizer que o produtor poderá armazenar maior quantidade de café em coco na tulha. Estes resultados mostram que o café conilon possui maior capacidade de armazenagem quando em coco comparado ao café arábica e se mostrou superior a alguns clones de *Coffea canephora* estudados por Ramalho et al (2016), em Rondônia.

Em relação às características químicas, os maiores teores de sacarose foram encontrados nos genótipos do grupo G1 (5,66%), sendo que os grupos G4 (5,47%) e G5 (5,52%) não diferiram estatisticamente do primeiro. A sacarose representa o principal açúcar encontrado nos grãos de café canéfora estando associado à qualidade sensorial da bebida por se degradar em glicose e frutose durante a torra, açúcares responsáveis pela doçura (Salva et al, 2015; Celestino e Veiga, 2019). Dessa forma, genótipos que expressem características de qualidade associadas à boas produtividades contribuem para o desenvolvimento de uma cafeicultura mais competitiva e sustentável.

**Tabela 10.** Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de genótipos de café conilon utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2019/20. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

GRUPO	RENDA (%)			N° DE NÓS NO RAMO PLAGIOTRÓPICO			ALTURA (cm)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	63,34	25,57	a	19,86	19,00	b	137,67	18,50	ab
G2	58,55	15,11	b	16,48	9,50	c	126,96	11,44	b
G3	59,13	15,50	b	21,94	28,25	a	144,94	23,42	a
G4	60,86	19,50	ab	18,25	13,50	bc	145,75	24,25	a
G5	56,66	10,71	b	18,74	17,00	bc	126,62	13,00	b

GRUPO	RENDIMENTO* (kg/ha)			5-ACQ (%)			ÁCIDO CÍTRICO (%)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	6977,84 (116)	24,14	a	4,29	20,79	a	0,95	25,29	a
G2	3535,67 (59)	8,89	c	4,18	12,94	a	0,67	13,56	bc
G3	6127,77 (102)	20,42	ab	4,24	13,58	a	0,71	14,33	Bc
G4	7132,65 (118)	26,00	a	4,55	22,00	a	0,60	8,25	c
G5	4523,35 (75)	12,21	bc	4,42	18,50	a	0,83	20,43	ab

GRUPO	SACAROSE (%)			CAFEÍNA (%)			TRIGONELINA (%)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	5,66	24,00	a	1,77	11,86	bc	1,51	27,86	a
G2	5,11	13,78	b	2,01	19,67	ab	1,21	10,11	c
G3	4,67	4,17	c	1,81	9,00	c	1,17	6,67	c
G4	5,47	21,50	ab	2,03	23,00	a	1,33	17,50	b
G5	5,52	22,57	a	2,01	22,14	a	1,40	23,57	ab

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.

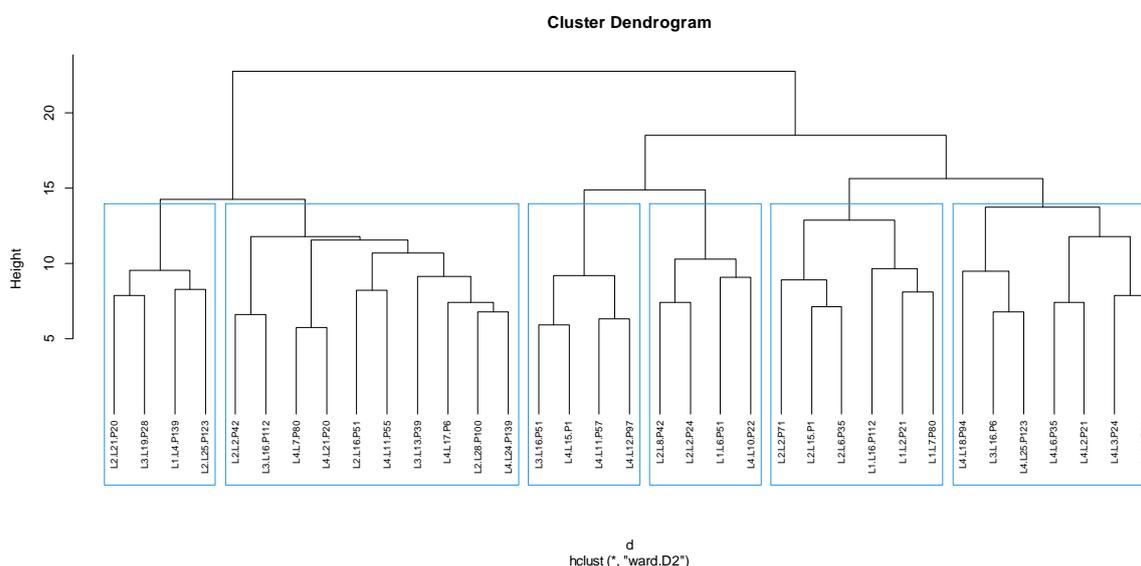
\*Valores entre parênteses correspondem à ao rendimento em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare.

Quanto aos alcaloides cafeína e trigonelina os grupos G1 e G3 obtiveram os menores valores para o primeiro (1,77% e 1,8%, respectivamente) não diferindo entre si estatisticamente e o grupos G1 e G5 obtiveram os maiores valores para o segundo (1,51% e 1,4%, respectivamente). A cafeína está associada ao sabor amargo da bebida enquanto a trigonelina influencia, junto com os açúcares, na qualidade sensorial da bebida desenvolvida durante a torra. O ácido cítrico possui efeito significativo no equilíbrio do sabor, pois a acidez juntamente com a doçura e o amargor caracterizam o perfil sensorial da bebida (Dong et al, 2017). Dessa forma, teores

menores de cafeína e altos teores de trigonelina e ácido cítrico são características desejados em cafés finos. Os grupos G1 e G5 obtiveram os maiores teores de ácido cítrico (0,95% e 0,83%, respectivamente).

A partir da análise destes resultados obtidos no ano safra de 2019/20, pode-se destacar o grupo G1 como um grupo promissor, abrangendo genótipos adaptados às condições de cultivo irrigado no Cerrado mostrando potencial de qualidade e rentabilidade. Estão no grupo G1 os genótipos L1.L11.P20 (3), L2.L2.P24 (16), L2.L25.P123 (14), L3.L16.P6 (22), L3.L16.P112 (23), L4.L25.P123 (31) e L4.L10.P22 (42) (Anexo I).

Para o ano safra de 2020/21, a análise de cluster agrupou os 35 genótipos em 6 grupos – G1 (4 genótipos), G2 (4 genótipos), G3 (6 genótipos), G4 (10 genótipos), G5 (7 genótipos) e G6 (4 genótipos) (Figura 13), sendo o valor do coeficiente de correlação cofenética (r) significativo ( $p \geq 0,05$ ), com valor de 0,51 (Figura 1). Vale ressaltar que os genótipos não estão necessariamente no mesmo grupo do ano anterior.



**Figura 13.** Análise de agrupamento de 35 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2020/21. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética (r) é de 0,51. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

Pela análise de Kruskal-Wallis, houve diferença significativa na probabilidade de 5% entre os grupos gerados pela análise de cluster para todas as características, exceto para comprimento do internódio do ramo ortotrópico (Tabela 11).

**Tabela 11.** Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de genótipos de café conilon utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2020/21. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

GRUPO	ALTURA (cm)			CRP (cm)			CIP (cm)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	189,08	27,00	a	68,67	7,50	c	3,29	10,75	b
G2	168,25	9,50	bc	69,42	9,63	c	4,96	32,38	a
G3	194,50	30,00	a	75,89	19,67	b	3,83	21,08	ab
G4	178,02	17,05	b	83,03	28,00	a	3,59	17,90	b
G5	176,24	15,71	b	72,71	19,93	b	3,52	15,36	b
G6	160,83	5,88	c	66,42	6,00	c	3,27	11,13	b

GRUPO	CIO (cm)			NNP			NRP		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	4,46	22,75	a	19,08	12,63	bc	43,67	28,63	a
G2	4,75	23,63	a	17,42	9,50	c	36,33	13,88	cd
G3	3,61	14,67	a	19,67	14,92	bc	41,00	25,33	ab
G4	4,09	19,60	a	23,13	26,10	a	37,97	17,70	bc
G5	3,88	17,36	a	21,33	22,50	ab	36,71	15,07	cd
G6	3,31	9,75	a	17,25	8,38	c	33,54	6,38	d

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.

CRP = comprimento do ramo plagiotrópico; CIP = comprimento do internódio do ramo plagiotrópico; CIO = comprimento do internódio do ramo ortotrópico; NNP = número de nós no ramo plagiotrópico; NRP = número de ramos plagiotrópicos;

Para as características morfoagronômicas, o teste de Kruskal-Wallis não discriminou grupos diferentes para a característica comprimento do internódio ortotrópico. Contudo, para as características altura, comprimento do ramo plagiotrópico, comprimento de internódios do ramo plagiotrópico e número de nós produtivos e vegetativos nos ramos plagiotrópicos, houve distinção entre os grupos. Os grupos G1, G2 e G6 não se diferiram, apresentando a média de ramos plagiotrópicos menores, quando comparado com os demais grupos. Os grupos G4 e G5 apresentaram maiores posições no rank de quantidade de nós nos ramos plagiotrópicos enquanto o grupo G6 apresentou o menor posto no *rank*. A quantidade de ramos plagiotrópicos foi maior para o grupo G1 e menor para o grupo G6 (Tabela 11).

Na média geral, a safra 2020/21 apresentou desempenho 40% inferior quando comparado à safra anterior, possivelmente devido à bialidade, característica intrínseca ao cafeeiro dada sua fenologia. O grupo G6 obteve a maior classificação (*rank*) com média de 2938,28 kg/ha, diferindo somente do grupo G1 (Tabela 12).

**Tabela 12.** Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de genótipos de café conilon utilizando dados de produtividade, rendimento de café beneficiado (RENDA), porcentagem de grãos com peneira maior que 16, porcentagem de grãos moca teores de sacarose, cafeína, trigonelina, ácido cítrico e ácido clorogênico (5-ACQ) no ano safra de 2020/21. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

GRUPO	PRODUTIVIDADE* (kg/ha)			RENDA (%)			PENEIRA 16+ (%)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	1677,26 (28)	11,00	b	48,51	10,75	b	8,03	17,75	bc
G2	2546,92 (43)	17,00	ab	54,04	18,75	ab	24,72	26,00	ab
G3	1906,31 (32)	16,08	ab	58,17	29,17	a	20,83	20,50	b
G4	1849,17 (31)	16,55	ab	51,74	13,10	b	4,57	10,80	cd
G5	2744,41 (46)	20,71	ab	54,63	23,29	a	35,58	27,71	a
G6	2938,28 (49)	27,75	a	48,28	10,75	b	2,10	5,75	d

GRUPO	GRÃOS MOCA (%)			SACAROSE (%)			CAFEÍNA (%)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	60,81	28,00	a	3,84	7,25	b	2,21	11,00	b
G2	47,19	14,25	bc	4,70	26,00	a	2,25	12,38	b
G3	39,66	8,50	c	4,15	14,50	ab	2,38	22,00	ab
G4	58,74	25,50	a	4,27	16,80	ab	2,24	13,05	b
G5	39,68	8,71	c	4,70	23,86	a	2,40	24,93	a
G6	57,22	23,50	ab	4,34	18,75	ab	2,41	24,88	a

GRUPO	TRIGONELINA (%)			5-ACQ (%)			ÁCIDO CÍTRICO (%)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
G1	1,03	13,50	bc	4,42	23,25	ab	0,41	12,75	bc
G2	1,13	18,75	abc	4,16	20,63	ab	0,66	23,25	ab
G3	1,11	19,00	abc	3,91	12,17	b	0,47	14,17	bc
G4	1,02	10,40	c	3,94	13,10	b	0,45	12,60	c
G5	1,33	27,14	a	4,31	26,29	a	0,68	28,14	a
G6	1,17	23,25	ab	4,04	16,63	ab	0,53	19,50	abc

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si pelo teste de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade. \*Valores entre parênteses correspondem à ao rendimento em sacas de 60 kg de café beneficiado por hectare. 5-ACQ = ácido clorogênico 5-cafeoilquínico.

Em relação à renda, os grupos G2, G3 e G5 obtiveram maiores valores, não diferindo entre si. Quanto à classificação por peneiras, destaque para os grupos G2 e G5 com maior percentual de grãos chatos 16 acima e grupos G3 e G5 com menores percentuais de grão moca (Tabela 12).

Quanto às características químicas, o grupo G5 figurou com a maior classificação (rank) para todas as características, exceto sacarose. Contudo, não diferiu estatisticamente do G2 para esta característica (Tabela 12).

A partir da análise destes resultados obtidos no ano safra de 2020/21, pode-se destacar o grupo G5 como um grupo promissor, abrangendo genótipos adaptados às condições de cultivo irrigado no Cerrado mostrando potencial produtivo e de qualidade.

Além deste, o grupo G6 apresentou características morfoagronômicas relacionadas a plantas mais compactas e produtivas, agrupando, portanto, genótipos com alto valor agrônomo. Estão no grupo G5 os genótipos L3.L16.P6 (22), L4.L3.P24 (29), L4.L25.P123 (31), L4.L18.P94 (36), L4.L6.P35 (37), L4.L8.P79 (41) e L4.L2.P21 (43). Estão no grupo G6 os genótipos L3.L16.P51 (25), L4.L11.P57 (27), L4.L12.P97 (28) e L4.L15.P1 (38) (ANEXO II).

#### **4. CONCLUSÕES**

Para o presente estudo a análise de cluster juntamente com a análise não paramétrica se mostra eficiente na identificação de genótipos promissores adaptados às condições edafoclimáticas do Cerrado.

Há uma variação grupal no que se refere às características avaliadas nos dois anos, muito provavelmente em função da variação ambiental.

No ano safra 2019/20, o grupo G1 se apresenta como superior para todos os aspectos avaliados.

No ano safra 2020/21, o grupo G5 se destaca dos demais grupos em relação a teores de componentes químicos aliado à produtividade e à classificação física dos grãos. O grupo G6, para o mesmo ano, se sobressai em relação às características agrônomo desejadas aliadas à produtividade.

Os genótipos L3.L16.P6 (22) e L4.L25.P123 (31), em dois anos seguidos, figuram dentro dos dois grupos que se sobressaíram em relação à maioria das características morfoagronômica e de qualidade avaliadas, mostrando serem

materiais promissores dentro do programa de melhoramento genético de café conilon irrigado no Cerrado para compor futuros ensaios ou até mesmo variedades clonais ou parentais em hibridações com outros genótipos de interesse.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

BRIGE, F.A.A.; CELESTINO, S.M.C.; AMABILE, R.F.; FAGIOLI, M.; DELVICO, F.M. DOS S.; MONTALVÃO, A.P.L.; SALA, P.I.A.L. Genetic variability in conilon coffee related to grain attributes in an irrigated crop in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 54, e00358, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00358>

BUSATO, C.; REIS, E. F. D.; OLIVEIRA, M. G.; GARCIA, G. D. O.; BUSATO, C. C. M.; PARTELLI, F. L. Efeitos de diferentes níveis de nitrogênio sobre o crescimento vegetativo e produtividade do café conilon (*Coffea canephora*). **Ciência Rural**, 52(12), e20200770, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20200770>

CAMPUZANO-DUQUE, L. F.; BLAIR, M. W. Strategies for robusta coffee (*Coffea canephora*) improvement as a new crop in Colombia. **Agriculture**, 12(10),1576-1591, 2022. <https://doi.org/10.3390/agriculture12101576>

DONG, W., HU, R., CHU, Z., ZHAO, J., & TAN, L. Effect of different drying techniques on bioactive components, fatty acid composition, and volatile profile of robusta coffee beans. **Food Chemistry**, 234, 121–130, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.156>

USDA. Foreign Agricultural Service – United States Department of Agriculture FAS  
USDA. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data> Acesso em: jul 2023.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; BRAGANÇA, S. M.; FERRÃO, L. M. V. EMCAPA 8151 – Robusta Tropical: variedade melhorada de café conilon de propagação por sementes para o estado do Espírito Santo. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1. 2000. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas, MG. Embrapa Café, 2000.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, J.B.R.; SILVA, H.C.; ARAÚJO, M.C. de. **Irrigação do Cafeeiro no Cerrado:**

estratégia de manejo de água para uniformização de florada. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2005. 4p. (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 122).

LANCE, G. N.; WILLIAMS, W. T. Computer programs for hierarchical polythetic classification ("similarity analyses"). **The Computer Journal**, 9(1):60–64, 1966. DOI: <https://doi.org/10.1093/comjnl/9.1.60>

MARTINS, M. Q., PARTELLI, F. L., GOLYNSKI, A., DE SOUSA PIMENTEL, N., FERREIRA, A., DE OLIVEIRA BERNARDES, C., RIBEIRO-BARROS, A. I., RAMALHO, J. C. Adaptability and stability of *Coffea canephora* genotypes cultivated at high altitude and subjected to low temperature during the winter. **Scientia Horticulturae**, 252, 238-242, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.03.044>

PARTELLI, F.L., GOMES, W.R., OLIVEIRA, M.G., DIAS, J.R.M., ESPINDULA, M.C. (2016) Normas foliares e diagnóstico nutricional do cafeeiro conilon na pré-florada e granação, no Espírito Santo. **Coffee Science**, 11:544-554.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <http://www.R-project.org>

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; SILVA, F. A. M.; MACHADO JÚNIO, J. R. R.; ARAÚJO, M. C.; SILVA, H. C. Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no Cerrado. In: VIII Simpósio brasileiro de pesquisa em cafeicultura irrigada, 2006, Araguari. **VIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa em Cafeicultura Irrigada**. Viçosa: UFV, 2006. p. 61-64.

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...** Consórcio Pesquisa Café, 2015.

SANTIN, M. R., AMABILE, R. F., MALAQUIAS, J. V., VEIGA, A. D., BRIGE, F. A. A., & SALA, P. I. A. L. Maturation and detachment force for mechanized harvesting of irrigated Conilon coffee in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 58, e02967, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2023.v57.02967>

SANTIN, M. R., COELHO, M. C., SAYD, R. M., PEIXOTO, J. R., & AMABILE, R. F. Yield, maturation cycle, and estimates of genetic parameters of Robusta coffee genotypes under irrigation in the Cerrado. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, 19, 387-394, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/1984-70332019v19n4a55>

SOUZA, C. A., ROCHA, R. B., ALVES, E. A., TEIXEIRA, A. L., DALAZEN, J. R., E FONSECA, A. F. A. Characterization of beverage quality in *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. **Coffee Science**, 13(2), 210-218, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.25186/cs.v13i2.1419>

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxonomy**, 11(1),30-40, 1962. DOI: <https://doi.org/10.2307/1217208>

## ANEXO IV

**Tabela 13.** Agrupamento de 33 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano de 2019/20. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética (r) é de 0,58. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

GRUPO	G1	G2	G3	G4	G5
GENÓTIPOS	L1.L11.P20	L1.L16.P112	L1.L4.P139	L1.L7.P80	L2.L6.P35
	L2.L2.P24	L1.L8.P59	L1.L8.P60	L2.L16.P51	L2.L8.P42
	L2.L25.P123	L4.L11.P55	L2.L2.P42	L3.L13.P39	L3.L16.P51
	L3.L16.P112	L4.L2.P21	L2.L21.P20	L3.L19.P28	L4.L11.P57
	L3.L16.P6	L4.L21.P20	L2.L28.P100		L4.L15.P1
	L4.L10.P22	L4.L24.P139	L4.L28.P.100		L4.L17.P6
	L4.L25.P123	L4.L3.P24			L4.L21.P22
		L4.L6.P35			
		L4.L8.P79			

**Tabela 14.** Agrupamento de 35 genótipos de café conilon, com base na matriz de dissimilaridade genética calculada pela distância Canberra, utilizando características morfoagronômicas e de qualidade química no ano safra de 2020/21. O método do Ward foi usado como critério de agrupamento. O valor do coeficiente de correlação cofenética (r) é de 0,51. Planaltina, Distrito Federal, 2023.

GRUPO	G1	G2	G3	G4	G5	G6
GENÓTIPOS	L1.L4.P139	L1.L6.P51	L1.L2.P21	L2.L2.P42	L3.L16.P6	L3.L16.P51
	L2.L21.P20	L2.L8.P42	L1.L16.P112	L2.L28.P100	L4.L3.P24	L4.L11.P57
	L2.L25.P123	L2.L2.P24	L1.L7.P80	L2.L16.P51	L4.L25.P123	L4.L12.P97
	L3.L19.P28	L4.L10.P22	L2.L15.P1	L3.L13.P39	L4.L18.P94	L4.L15.P1
			L2.L6.P35	L3.L16.P112	L4.L6.P35	
			L2.L2.P71	L4.L11.P55	L4.L8.P79	
				L4.L17.P6	L4.L2.P21	
				L4.L7.P80		
				L4.L21.P20		
				L4.L24.P139		