



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

**RESPOSTAS FISIO-AGRONÔMICAS DO CAFÉ CONILON SOB
ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO NO PLANALTO CENTRAL
BRASILEIRO**

GUSTAVO BARBOSA COBALCHINI SANTOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
AGOSTO/2025



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

**RESPOSTAS FISIO-AGRONÔMICAS DO CAFÉ CONILON SOB
ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO NO PLANALTO CENTRAL
BRASILEIRO**

GUSTAVO BARBOSA COBALCHINI SANTOS

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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM AGRONOMIA

BRASÍLIA/DF
AGOSTO/2025



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

**RESPOSTAS FISIO-AGRONÔMICAS DO CAFÉ CONILON SOB
ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO NO PLANALTO CENTRAL
BRASILEIRO**

GUSTAVO BARBOSA COBALCHINI SANTOS

**Dissertação de mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia,
como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de mestre em agronomia.**

APROVADA POR:

Marcelo Fagioli, Dr., Universidade de Brasília-UnB
Orientador. CPF: 729.409.306-78
mfagioli@unb.br

Fábio Gelape Faleiro, Eng. Agrônomo Dr., Embrapa Cerrados
Examinador Interno. CPF: 739.634.706-82
fabio.faleiro@embrapa.br

Solange Rocha Monteiro de Andrade, Bióloga, Dra., Embrapa Cerrados
Examinadora Externa. CPF: 068.754.058-57
solange.andrade@embrapa.br

Brasília/DF, 14 de agosto de 2025.

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na fonte:

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SANTOS, G. B. C. **Respostas fisio-agronômicas do café conilon sob estresse hídrico controlado no Planalto Central Brasileiro**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2025. Dissertação de Mestrado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gustavo Barbosa Cobalchini Santos

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO: Respostas fisio-agronômicas do café conilon sob estresse hídrico controlado no Planalto Central Brasileiro.

GRAU: Mestre

ANO: 2025

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

Gustavo Barbosa Cobalchini Santos

CPF: 062.949.991-89

Rua 20, número 659, Formosinha

Formosa/GO - Brasil

CEP: 73.813-310

Tel.: +55 61 99823-8858

gustavocobalchini@gmail.com

A Deus, por ter me sustentado em todas as etapas.
À Nossa Senhora, minha intercessora fiel nos dias de aflição.
Dedico também a todos que, com fé, incentivo e amor, caminharam comigo... em especial,
meus pais e meu irmão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que é a fonte de toda sabedoria, força e amor. Agradeço por ter me concedido tudo: o conhecimento necessário, a dedicação nos momentos difíceis, o esforço contínuo e, principalmente, as pessoas que sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e orando por mim. Sem a Tua presença constante, esta conquista não teria sido possível.

À minha base: meus pais, Andreia Cobalchini Santos e Edgard Barbosa dos Santos, que sempre torceram, vibraram e me apoiaram em todas as fases desta jornada. Vocês são meu exemplo de amor incondicional e perseverança. Ao meu irmão, Felipe Barbosa Cobalchini Santos, meu confidente, que esteve ao meu lado em todos os momentos, sendo sempre o primeiro a saber quando algo não ia bem, e, principalmente, a primeira pessoa a me ajudar a me reerguer. Sou eternamente grato por vocês três. Esta conquista é nossa.

Aos meus familiares, que foram suporte constante, seja de forma material, espiritual ou emocional. Suas orações e ajuda prática foram fundamentais para que eu me mantivesse firme até o fim.

Aos meus amigos, que torceram por mim com entusiasmo e sempre comemoraram cada conquista ao meu lado. Ter vocês comigo fez toda a diferença.

Ao meu orientador, Marcelo Fagioli, pela paciência, pela orientação segura e por compartilhar, com sabedoria e serenidade, seus conhecimentos e experiências.

Ao meu coorientador, Renato Fernando Amabile, que não apenas me orientou, mas tornou-se um amigo. Agradeço por cada ensinamento, pelas partilhas generosas, pela compreensão nos momentos difíceis e, sobretudo, por acreditar em mim mesmo quando eu duvidei da minha capacidade.

À pesquisadora Solange Andrade, por todos os conselhos, ensinamentos e pela paciência que sempre teve comigo. Nossas reuniões foram muito valiosas e nossas conversas me tranquilizava. Ao pesquisador Adriano Delly Veiga, por sempre ser solícito para sanar minhas dúvidas. Ao Juaci Malaquias, que me auxiliou com toda a etapa estatística com extrema generosidade e competência.

Agradeço também a todos os outros pesquisadores, professores e colaboradores que, de alguma forma, contribuíram para minha formação e para a realização desta dissertação.

À minha amiga Arlini Fialho Rodrigues, que esteve comigo desde o primeiro dia desta pós-graduação. Parceira fiel nos experimentos e na troca de conhecimentos, sua presença foi essencial em minha trajetória.

À equipe da Embrapa Cerrados, minha profunda gratidão. Em especial aos colegas de pós-graduação João Victor Pinheiro Melo, Bárbara Soares França, Carolaini Campos Silva, Amanda Ribeiro dos Santos, e aos estagiários Mariana Alves, Amanda Matias e Kelly Cristina, que foram grandes parceiros no dia a dia da pesquisa, com colaboração, companheirismo e amizade.

Agradeço à Embrapa Cerrados, por viabilizar a realização desta pesquisa, e à Universidade de Brasília (UnB), por meio da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAV), por proporcionar a estrutura acadêmica e científica necessária ao desenvolvimento deste trabalho.

A todos vocês, meu mais sincero e profundo agradecimento.

SUMÁRIO

RESUMO	1
ABSTRACT	2
1. INTRODUÇÃO	3
2. OBJETIVOS	6
2.1. Objetivo geral.....	6
2.2. Objetivos específicos.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1. O Café	7
3.1.1. Descrição botânica do Café.....	7
3.1.2. História, origem e dispersão geográfica.....	7
3.1.3. O café e a importância na história do Brasil	9
3.1.4. Importância econômica	11
3.2. O Café Conilon	12
3.2.1. Melhoramento genético do café conilon	13
3.3. Cerrado.....	15
3.4. Sistemas de Produção de Café Conilon no Cerrado.....	17
3.5. Fisiologia Vegetal	19
3.5.1. Estômatos	20
3.5.1.1. Fatores ambientais e o movimento estomático.....	21
3.5.1.2. Aparato estomático e transpiração do café conilon.....	23
3.5.2. Conteúdo relativo de água (CRA).....	24
3.5.3. Estabilidade da membrana celular.....	25
3.6. Estresse hídrico do café conilon em condições de Cerrado	26
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29
CAPÍTULO I	41
RESUMO	42
ABSTRACT	43
1. INTRODUÇÃO	44
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4. CONCLUSÕES	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	56
CAPÍTULO II.....	59
RESUMO	60
ABSTRACT.....	61

1.	INTRODUÇÃO	62
2.	MATERIAL E MÉTODOS.....	63
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
4.	CONCLUSÕES	81
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

RESPOSTAS FISIO-AGRONÔMICAS DO CAFÉ CONILON SOB ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO NO PLANALTO CENTRAL BRASILEIRO

RESUMO

O café destaca-se como uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo. No Brasil, a cultura ocupa um papel de destaque na economia nacional, figurando entre os principais produtos do agronegócio. Dentro da *Coffea canephora* Pierre ex Froehner o café conilon é amplamente utilizado, principalmente devido às suas características sensoriais, robustez agrônômica, elevado potencial produtivo, maior tolerância a seca e resistência a fatores bióticos e abióticos, sendo uma cultura com grande capacidade de expansão territorial. O objetivo do presente estudo foi caracterizar agronomicamente e fisiologicamente clones do *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, pertencente à cultivar Marilândia ES 8143, sob condições de estresse hídrico controlado no Cerrado do Planalto Central. O trabalho foi conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina, Distrito Federal, sob irrigação por pivô central com manejo de suspensão hídrica durante a estação seca. Foram utilizados 4 clones da cultivar clonal de café canéfora conilon Marilândia ES 8143, lançada pelo INCAPER em 2017. Foram avaliados caracteres agrônômicos vegetativos (2023 e 2024): altura de plantas, projeção de copa, número de ramos plagiotrópicos; agrônômicos de produção (2024): produtividade de grãos, classificação física dos grãos; e os caracteres fisiológicos (2023 e 2024): condutância estomática, conteúdo relativo de água e estabilidade da membrana celular. Os dados foram submetidos à análise de variância, seguido da comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para os dados fisiológicos, também foi aplicada análise de regressão linear. Os dados agrônômicos que não atenderam os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias foram analisados por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. O clone 405 apresentou maior vigor vegetativo, porém com menor produtividade ($2.814,33 \text{ kg ha}^{-1}$). Já os clones 401 e 412 se destacaram por aliarem bom desenvolvimento vegetativo e alta produtividade, com valores de $4.520,33 \text{ kg ha}^{-1}$ e $4.781,67 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente. A análise fisiológica indicou que o estresse hídrico ocorreu entre 30 e 43 dias após o início da restrição hídrica. A condutância estomática variou entre os anos e clones, com destaque para os clones 401 (2023) e 412 (2024), que apresentaram melhor equilíbrio estomático frente ao estresse. As diferenças entre os anos reforçam a influência das condições ambientais sobre os parâmetros avaliados.

Palavras-chave: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, variabilidade ambiental, comportamento dos estômatos, fisiologia vegetal.

PHYSIO-AGRONOMIC RESPONSES OF CONILON COFFEE UNDER CONTROLLED WATER STRESS IN THE BRAZILIAN CENTRAL PLATEAU

ABSTRACT

Coffee stands out as one of the most important agricultural crops in the world. In Brazil, coffee plays a prominent role in the national economy, ranking among the main agribusiness products. Within *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, Conilon coffee is widely used, mainly due to its sensory characteristics, agronomic robustness, high productive potential, greater tolerance to drought, and resistance to biotic and abiotic factors, making it a crop with great capacity for territorial expansion. The objective of this study was to characterize agronomically and physiologically clones of *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, belonging to the Marilândia ES 8143 cultivar, under controlled water stress conditions in the Cerrado of the Central Plateau. The work was conducted at the Embrapa Cerrados experimental field in Planaltina, Federal District, under center pivot irrigation with water suspension management during the dry season. Four clones of the clonal cultivar of canephora conilon coffee Marilândia ES 8143, launched by INCAPER in 2017, were used. The following characteristics were evaluated: vegetative agronomic characteristics (2023 and 2024): plant height, canopy projection, number of plagiotropic branches; production agronomic characteristics (2024): grain yield, physical classification of grains; and physiological traits (2023 and 2024): stomatal conductance, relative water content, and cell membrane stability. The data were submitted to analysis of variance, followed by comparison of means using Tukey's test at a 5% probability level. Linear regression analysis was also applied to the physiological data. Agronomic data that did not meet the assumptions of normality and homogeneity of variances were analyzed using the nonparametric Kruskal-Wallis test. Clone 405 showed greater vegetative vigor, but lower productivity ($2,814.33 \text{ kg ha}^{-1}$). Clones 401 and 412 stood out for combining good vegetative development and high productivity, with values of $4,520.33 \text{ kg ha}^{-1}$ and $4,781.67 \text{ kg ha}^{-1}$, respectively. Physiological analysis indicated that water stress occurred between 30 and 43 days after the onset of water restriction. Stomatal conductance varied between years and clones, with clones 401 (2023) and 412 (2024) standing out for their better stomatal balance in the face of stress. The differences between years reinforce the influence of environmental conditions on the parameters evaluated.

Key words: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, environmental variability, behavior of stomata, plant physiology.

1. INTRODUÇÃO

O café destaca-se como uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, tanto do ponto de vista econômico quanto social e cultural. É uma das *commodities* mais comercializadas globalmente, sendo amplamente consumido na forma de bebida, movimentando uma cadeia produtiva que envolve milhões de pessoas em diferentes etapas, desde o cultivo até o consumo final (Ferrão et al., 2017; ICO, 2023). No Brasil, o café ocupa um papel de destaque na economia nacional, figurando entre os principais produtos do agronegócio. Em 2023, o país exportou mais de 39 milhões de sacas, gerando uma receita estimada em 8,1 bilhões de dólares, consolidando-se como o maior produtor e exportador mundial (CONAB, 2023, CECAFE, 2023).

Dentre as espécies cultivadas do gênero *Coffea*, o café conilon pertencente a *Coffea canephora* Pierre ex Froehner é a segunda mais produzida globalmente, sendo superado apenas pelo café arábica (*Coffea arabica* L.). O conilon é amplamente utilizado na composição de blends e na produção de café solúvel, devido às suas características sensoriais (Souza et al., 2004; Ferrão et al., 2012). Essa variedade apresenta elevado potencial produtivo, maior tolerância à seca e resistência a fatores bióticos e abióticos, características que a tornam atrativa para regiões com condições climáticas mais adversas (Rodrigues et al., 2012).

No Brasil, o cultivo do café conilon concentra-se, tradicionalmente, em áreas de baixa altitude e temperaturas mais elevadas. No entanto, os avanços do melhoramento genético têm possibilitado o desenvolvimento de cultivares com ampla adaptabilidade a diferentes ambientes, incluindo regiões de maior altitude e com condições climáticas distintas, como o Cerrado do Planalto Central (Ferrão et al., 2017). Essa expansão territorial é estratégica, uma vez que o Cerrado brasileiro apresenta grande potencial para o cultivo do café conilon, graças às suas características edafoclimáticas.

O bioma Cerrado é reconhecido por oferecer condições ideais para a produção de café de alta qualidade, especialmente durante o período da colheita, quando predominam clima seco e baixa umidade relativa do ar, fatores que favorecem a uniformidade da maturação e a qualidade do grão. Além disso, a ocorrência de uma estação seca bem definida promove a suspensão hídrica natural das plantas, fator determinante para a uniformização da florada no início do período chuvoso, o que contribui para a sincronização do ciclo produtivo. Nessa região, o uso da irrigação controlada, aliado à maior tolerância do café Conilon às altas temperaturas do ar, tem permitido elevados índices de produtividade (Assad et al., 2004; Alegre, 2017; Santin, 2016). Nesse contexto, o desenvolvimento de cultivares adaptadas às

condições do Cerrado, com alto vigor vegetativo, elevado potencial produtivo, tolerância à seca e qualidade superior de grãos, é essencial para a consolidação dessa espécie em novas fronteiras agrícolas.

Contudo, o avanço do cultivo do café conilon em regiões marcadas pela escassez hídrica impõe desafios relevantes ao manejo da cultura. A limitação de água no solo afeta diretamente o metabolismo das plantas, comprometendo o crescimento, o desenvolvimento vegetativo, o enchimento dos grãos e, consequentemente, a produtividade final. Nesse contexto, a busca por genótipos mais adaptados a essas condições ambientais tem se intensificado, com o objetivo de identificar materiais que sejam produtivos mesmo sob condições adversas (DaMatta, 2004; Carvalho et al., 2017).

Diversos parâmetros fisiológicos têm sido amplamente utilizados para avaliar a tolerância das plantas de café ao estresse hídrico. Entre os principais, destaca-se a condutância estomática, um indicador crucial da regulação da transpiração e da assimilação de CO₂. O fechamento eficiente dos estômatos, conforme apontado por Marraccini et al. (2012), está diretamente relacionado à redução da perda de água e ao aumento da eficiência no uso hídrico, sendo, portanto, um mecanismo fisiológico central na resposta à seca. Outros parâmetros importantes incluem o conteúdo relativo de água (CRA), o potencial hídrico foliar, a taxa fotossintética, a fluorescência da clorofila e a integridade das membranas celulares (Partelli, 2008; Silva et al., 2010). Adicionalmente, análises bioquímicas, como a quantificação de solutos osmoprotetores (como prolina e açúcares solúveis), compostos associados ao estresse oxidativo (como o malondialdeído – MDA) e a atividade de enzimas antioxidantes (como superóxido dismutase – SOD, catalase – CAT e ascorbato peroxidase – APX), têm contribuído significativamente para a compreensão dos mecanismos de tolerância à seca em genótipos de café (Pinheiro et al., 2004; Menezes et al., 2017).

Diante dessas complexas interações fisiológicas e bioquímicas, o melhoramento genético do café conilon voltado à tolerância à seca tem ganhado destaque. Programas de melhoramento vêm incorporando avaliações de desempenho agrônômico sob estresse hídrico, aliadas a análises fisiológicas e moleculares, na seleção de genótipos superiores. A identificação e o uso de materiais genéticos mais tolerantes à seca não apenas contribuem para a estabilidade produtiva em regiões de clima seco, como também promovem maior eficiência no uso dos recursos hídricos, o que é essencial diante das mudanças climáticas e da crescente demanda por sustentabilidade na agricultura (Alkimim et al., 2021).

Assim, compreender as respostas fisiológicas de clones do café conilon ao estresse hídrico é fundamental para o avanço de estratégias de manejo e de melhoramento genético que viabilizem a expansão sustentável da cultura em novas fronteiras agrícolas, como o Cerrado. A integração de informações agronômicas, fisiológicas e bioquímicas permite uma abordagem mais precisa e eficaz na seleção de genótipos adaptados, promovendo ganhos em produtividade, qualidade e resiliência às adversidades ambientais. Este cenário reforça a importância da pesquisa científica aplicada como instrumento de inovação e desenvolvimento no setor cafeeiro.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Caracterizar agronomicamente e fisiologicamente clones do *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, pertencentes à cultivar Marilândia ES 8143, sob condições de estresse hídrico controlado no Cerrado do Planalto Central Brasileiro.

2.2. Objetivos específicos

Caracterizar morfoagronomicamente clones de café Conilon cultivados sob irrigação no Cerrado do Planalto Central do Brasil.

Caracterizar fisiologicamente clones de café Conilon submetidos a estresse hídrico controlado no Cerrado do Planalto Central, visando à seleção de clones com maior tolerância à seca.

Identificar clones de café conilon com caracteres agrônômico superiores, como produtividade, crescimento vegetativo, qualidade física dos grãos e maior tolerância à seca.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. O Café

3.1.1. Descrição botânica do Café

O café é uma planta arbustiva perene, pertencente à família Rubiaceae. A família botânica Rubiaceae é caracterizada por árvores e arbustos tropicais e subtropicais, e compreende aproximadamente 500 gêneros e 6.000 espécies (Pino; Vegro, 2006). Os dois principais gêneros desta família é o *Coffea* e *Psilanthus*. Entretanto, o gênero *Coffea* é o que possui maior importância econômica dentro da família, e é dividido nos subgêneros *Coffea* e *BaraCoffea*. O subgênero *Coffea* abriga 80 espécies, dentre elas, o *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner que são responsáveis pela grande parte do café consumido no Mundo (Davis et al., 2011).

A classificação taxonômica do café é bastante difundida e com a expansão desta cultura, descrições botânicas de inúmeras espécies do gênero *Coffea* começaram a surgir, resultando em um agrupamento complexo. Há diversas controvérsias em relação a taxonomia das espécies de café, entretanto, o agrupamento mais adequado e correto se dá através de seguinte classificação: é uma planta Eudicotiledônea, pertencente à classe das Angiospermas, subclasse Sympetalae, ordem Rubiales, família das Rubiáceas, tribo Coffeae, gênero *Coffea* e subgênero *Coffea*, com as principais espécies sendo, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (Carvalho, 1946).

O *Coffea arabica* e o *Coffea canephora* se diferenciam em algumas peculiaridades. O café arábica é uma espécie tetraploide, autógama e possui o dobro de cromossomos do café canéfora, que é uma planta diploide e alógama, se diferenciando no modo de reprodução (Denoëud et al., 2014). Em relação as estruturas vegetativas, o canéfora possui uma estrutura multicaules, um sistema radicular mais superficial e folhas mais onduladas, diferentemente do arábica, que tem um único caule saindo da planta, folhas mais lisas e um sistema radicular mais profundo. O café canéfora apresenta maior resistência a condições ambientais adversas, como altas temperaturas do ar, déficit hídrico e baixa altitude, além de maior rusticidade e tolerância a pragas e doenças, quando comparado ao café arábica (Paulino et al., 1984).

3.1.2. História, origem e dispersão geográfica

A história do café é bastante difundida e apresentada em diversas versões, entretanto a que perpetua até hoje e é uma das pioneiras, é a Lenda de Kaldi sobre as cabras mais espertas, dando alusão ao poder estimulante que o café possui (Martins, 2015). A lenda diz que Kaldi, um pastor de cabras da Etiópia, percebeu que seu rebanho ao consumir as folhas e frutos de um específico arbusto se tornava mais ágil, ou seja, subiam as montanhas com maior agilidade sem apresentar exaustão. Para tirar prova, o pastor experimentou os frutos desse arbusto e confirmou que o mesmo possui o poder de estimulação. A notícia logo se espalhou, provocando de forma imediata o consumo do fruto pela população.

O centro de origem do cafeeiro (*Coffea* spp.) está localizado principalmente no continente Africano, mas existem indícios de espécies originárias em Madagascar e ilhas próximas, no Oceano Índico (Figura 1a) (Carvalho, 1946; Charrier e Berthaud, 1985).

O *C. arabica*, com sua classificação botânica em 1737, tem sua origem na África, especificamente nas terras altas da Etiópia, naquela época conhecida como região de Kafa, atualmente localizada a cidade de Bonga (Figura 1b). A população naquele momento consumia o fruto, aproveitando sua polpa doce, produziam sucos que quando fermentados se convertiam em bebida alcoólica e suas folhas também eram utilizadas para preparação de chá (Carvalho, 1946; Chevalier, 1947).

A espécie *C. canephora*, teve sua classificação botânica em 1895-1897 e é originária da região de Guiné na Bacia do Congo (Figura 1c). A espécie começou a ser cultivada e estudada depois de um surto de ferrugem nas lavouras de café arábica no sul e leste da Ásia. Os primeiros cultivos foram registrados em 1900, e ocorreram em Java. A espécie tornou-se objeto de estudos científicos, pois a mesma apresentava resistência à doença da ferrugem e boa adaptação em condições climáticas desfavoráveis (Charrier e Berthaud, 1988).

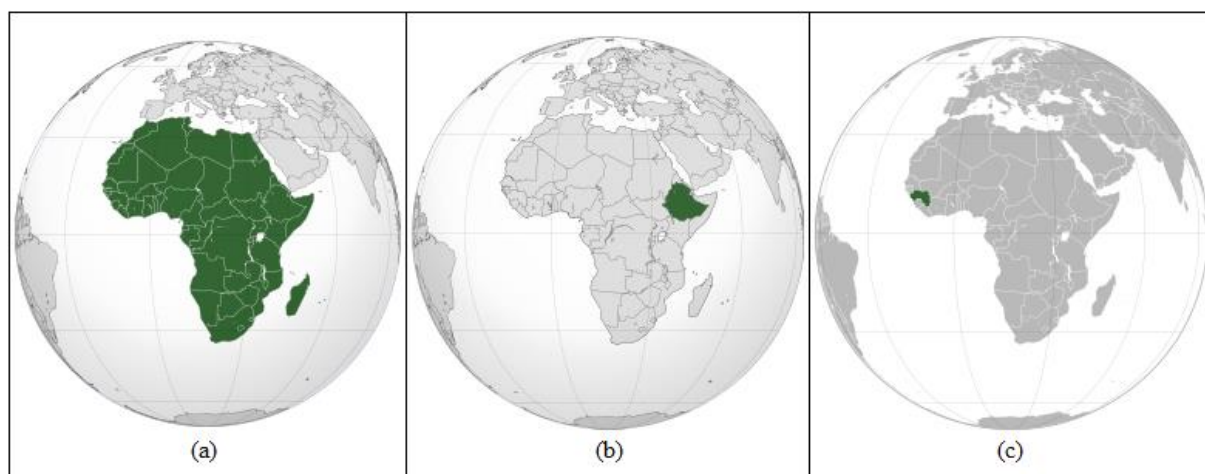


Figura 1. (a) Localização da África no globo terrestre. **(b)** Localização da Etiópia no continente africano. **(c)** Localização de Guiné no continente africano.

Apesar do território de origem do café ser a África, os árabes que foram os responsáveis pelo cultivo inicial e pela preparação do produto. Os primeiro indício de cultivo comercial do café arábica aconteceu antes do século XV, na península arábica (região do lêmen). O cultivo do café foi se expandindo. Da Arábia foi para a Ásia, em 1615 chegou na Europa, e foram eles que levaram a cultura para quase todo o Mundo (Figura 2). Os holandeses introduziram a cultura na América em 1718, e em menos de 10 anos o café já havia chegado ao Brasil, através da Guiana Francesa (Ferrão et al., 2017). Em relação ao café canéfora, no Brasil a espécie foi introduzida em 1912, entretanto o cultivo foi impulsionado na década de 50, época em que o café solúvel e os blends de café torrado e moído se popularizou (Malta, 1986; Merlo, 2012).

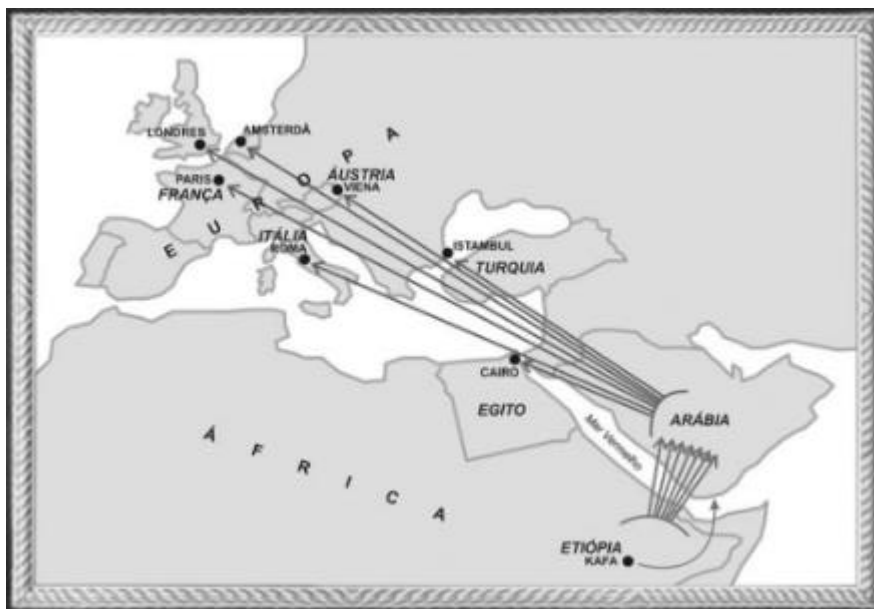


Figura 2. Mapa do percurso da planta café da África para a Arábia.

3.1.3. O café e a importância na história do Brasil

O café é uma das atividades agrícolas mais importantes e rentáveis do Brasil. Desde sua chegada ao país, trazido pelo Sargento-Mor Francisco e Mello Palheta, em 1727, essa cultura vem crescendo e elevando o Brasil no ranking Mundial da importação cafeeira. O cultivo dessa espécie iniciou-se no norte do país, e logo se expandiu a outros estados, sendo considerada uma das principais fontes de riqueza e desenvolvimento do país por quase um século.

As primeiras mudas de café chegaram no Brasil trazidas da Guiana Francesa e plantadas no Pará. No entanto, devido às condições ambientais desfavoráveis e à falta de tecnologias

adequadas para o cultivo, os cafezais nas regiões norte e nordeste do país não prosperaram. Logo, a espécie foi levada para região sudeste, chegando no Rio de Janeiro por volta de 1760, e perpetuando por muitos anos. Após a Independência do Brasil, o café se tornou uma base da economia nacional, com diferentes períodos históricos que favoreceram sua expansão pelo país (Taglialegna, 1996; Furtado, 2020).

A primeira fase da expansão cafeeira iniciou em 1860 e perpetuou durante 20 anos com a produção compulsória do café como principal cenário no Vale do Paraíba. A partir de 1880, a economia cafeeira no Vale do Paraíba começou a se deteriorar, devido à limitação de adoção de novas técnicas de produção, ao processo de abolição da escravidão, à crise de superprodução em 1897 e à política deflacionária entre 1898 e 1902 (Delfim Netto, 1981).

A próxima fase de expansão, aconteceu na região Oeste do estado de São Paulo, onde a produção desenvolvida no local deu-se através do trabalho livre, ao invés do trabalho escravo, a partir da chegada de imigrantes europeus, que solucionou o problema de escassez de mão de obra (Medeiros; Rodrigues, 2017). Além disso, nesse período acontece a implantação das estradas de ferro, localizadas sempre próxima as grandes fazendas e facilitando o transporte para deslocamento do café. Essa fase perdura até os anos de 1920, sendo a base da República Velha.

A terceira fase ocorre no extremo oeste paulista e norte paranaense, caracterizado pela aparição das pequenas propriedades e cooperativas. Isso se dá devido à Crise de 29 que instaurou caos na produção cafeeira, e, afim de reverter essa situação, as grandes fazendas foram divididas surgindo uma nova estrutura produtiva. Nessa nova fase, o preço e as condições de pagamento dos novos lotes de café ficam acessíveis a pequenos produtores. Após a Crise de 1929, o poder político foi deslocado da esfera estadual para o Governo Federal. A crise cafeeira de 1930 reflete a recessão econômica e resultado das políticas de valorização do café, que elevaram significativamente a capacidade de produção (Pelaez, 1973; Nagay, 1999).

Por fim, a última fase inicia em 1973, e se caracteriza pelo deslocamento dos cafezais para o Cerrado Mineiro, que através da utilização de tecnologia na produção, renovou a cafeicultura no Brasil. De acordo com a OIC (2018), após a crise de 1929, o Brasil voltou a se destacar no setor cafeeiro, tornando-se o maior produtor e exportador do grão, devido ao desenvolvimento de cultivares melhoradas e à boa adequação às condições agroclimáticas, possibilitando a produção de café em todas as regiões do país.

Essa nova expansão na cafeicultura é um processo em que novas áreas de cafezais são abertas, e isso se dá devido aos avanços tecnológicos diretamente relacionado com o melhoramento genético.

3.1.4. Importância econômica

O café apresenta uma grande diversificação quando se trata do seu uso, podendo ser utilizado como biofertilizantes, biocombustíveis, biomassa e em propósitos medicinais, entretanto, os grãos de café são principalmente empregados na produção da bebida estimulante (Ferrão et al., 2017). Levando em consideração as propriedades da bebida, o café arábica e o café conilon (variedade botânica do café canéfora) se discrepam bastante. O café arábica possui um sabor profundo e marcante, caracterizado por uma acidez delicada e um teor baixo de cafeína, podendo ser comercializado puro ou juntamente com o canéfora. Já o café conilon, que é uma variedade genética do canéfora, é um café mais resistente e com maior capacidade de produção. Ele apresenta uma bebida mais neutra e um amargor mais marcante, além de um teor de cafeína e sólidos solúveis mais elevados. A utilização desse café é principalmente para compor os blends, ou para fabricação de cafés solúveis (Moraes et al., 1973; Souza et al., 2004).

Uma característica importante dos cafeeiros é a bienalidade na produção do café. O café arábica apresenta maior bienalidade, já o canéfora uma menor bienalidade (Merga et al., 2023). A bienalidade é um fenômeno natural e se refere às plantas de cafés em produzir uma quantidade significativamente alta de grãos em um ano (safra alta), seguido por um ano de produção reduzida (safra baixa). Esse fenômeno caracterizado pela alternância anual entre altos e baixos níveis de produtividade, é geralmente associada à redução das reservas das plantas em anos de alta produção. Essa redução limita o crescimento dos ramos plagiotrópicos, resultando em uma menor produção no ano seguinte. Esse evento tem grandes impactos econômicos e sociais nas regiões produtoras, e é influenciado pelas condições climáticas, práticas agrícolas, ciclo de crescimento das plantas, entre outros fatores (DaMatta et al., 2007).

Em relação aos dados econômicos, o café arábica representa aproximadamente 60% do café produzido no Mundo, e os outros 40% são responsáveis pelas variedades conilon e robusta. No Brasil, a produção de café se dá principalmente pelo arábica e conilon. No ano de 2023, a produção total de café foi de 55,1 milhões de sacas beneficiados, sendo 38,9 milhões de sacas de arábica e 16,17 milhões de sacas de conilon (CONAB, 2023). Observando as safras anteriores, a produção de 2023 cresceu 8,2% em relação a 2022, mesmo sendo um ano de bienalidade negativa, e a explicação disso se dá devido às baixas precipitações, longas estiagens e temperaturas elevadas no desenvolvimento vegetativo, acometido em 2022.

Levando em consideração os dados de 2023, a cafeicultura brasileira possui uma área total de 2,24 milhões de hectares, sendo 1,87 milhões de hectares com lavouras em produção. Os principais estados produtores de café arábica são Minas Gerais, São Paulo, Espírito Santo, Bahia, Paraná, Rio de Janeiro e Goiás, que juntos somam uma área de 1,48 milhões de hectares. Já em relação ao café conilon, os estados que se destacam são, Espírito Santo, Bahia, Rondônia, e Mato Grosso, que somando totaliza 376 mil hectares, entretanto outros estados vem ganhando notoriedade na produção do café conilon (CONAB, 2023).

O Brasil além de ser o maior exportador de café, está entre os maiores consumidores de bebida (Associação Brasileira da Indústria de Café, 2021). A exportação do café produzido no Brasil, em 2023, foi de 39,2 milhões de sacas de 60 kg, destinados a 152 países, principalmente aos Estados Unidos e Alemanha com participação de 15,4% e 13,9% em quantidade, respectivamente. Em termos financeiros, o Brasil exportou US\$ 8,1 bilhões em 2023, um valor inferior ao recorde de US\$ 9,2 bilhões registrados em 2022. A redução em 2023 pode ser atribuída tanto à diminuição no volume exportado quanto à queda no preço médio do café arábica no mercado internacional (CONAB, 2023).

3.2. O Café Conilon

O *Coffea canephora* é a segunda espécie do gênero mais cultivada no mundo, apresentando dois grupos de materiais genéticos distintos, o Congolense, que está incluído o café robusta, e o Guineano, no qual pertence o café do tipo Kouillou (no Brasil conhecido como Conilon). (Paulino et al., 1984). Dentre os materiais, o cultivo da variedade Robusta predomina nos países da Ásia e África, já quando nos referimos ao cultivo do Conilon, a predominância é o Brasil (Ferrão et al., 2007a).

O café conilon é uma planta perene, de porte arbustivo, com a presença de multicaules lenhoso e mais ramificados, apresentando flores hermafroditas com estames aderentes ao tubo da corola, brancas, e em grande número por inflorescência e por axila foliar. As folhas deste café são elípticas, lanceoladas, com bordas onduladas, possuindo coloração verde claro, e sendo menores e mais alongadas em comparação a outras espécies. Os frutos apresentam maturação mais precoce, com menor tamanho e quantidade de mucilagem. A variedade conilon possui um alto potencial de produção, maior susceptibilidade à ferrugem e maior tolerância a seca em comparação a variedade robusta (Fazuoli, 1986; Ferrão et al., 2017).

A espécie é diploide ($2n = 2x = 22$ cromossomos), alógama e propagada por fecundação cruzada em razão da autoincompatibilidade gametofítica, formando populações com ampla

variabilidade genética (Conagin e Mendes, 1961; Vieira et al., 2006). A polinização dessa espécie é realizada com auxílio do vento (anemofilia) e de insetos (entomofilia), enquanto a fecundação cruzada acontece entre indivíduos geneticamente distintos.

A cafeicultura do conilon no Brasil passou por várias etapas ao longo de sua história. Introduzida no país em 1912 pelo estado do Espírito Santo, trazida por Jerônimo Monteiro, a cultura só ganhou impulso significativo na década de 1970, entretanto com recomendações técnicas voltadas para o café arábica. Com o tempo, percebeu-se que as orientações para o conilon precisavam ser diferentes, então, desde o ano de 1985, diversas instituições e empresas têm investido em pesquisas voltadas especificamente para o café conilon. Esses estudos têm sido fundamentais para o desenvolvimento de tecnologias adaptadas para áreas com condições não favoráveis, melhorias na produção e na qualidade, entre outros avanços que auxiliam os produtores com conhecimento prático (Fonseca et al., 2015). Essas tecnologias, aliadas a iniciativas de organização e desenvolvimento envolvendo diversos atores e instituições da cadeia do café, contribuíram significativamente para o expressivo aumento da produção brasileira de café conilon entre 1985 e 2015 (Ferrão et al., 2017).

A partir da década de 1990, diante da crescente demanda por café conilon e da limitação de áreas disponíveis nos tradicionais estados produtores como Espírito Santo e Rondônia, iniciou-se um movimento de introdução da cultura em novas regiões, incluindo o Brasil Central e, especificamente, o Cerrado. Essa expansão foi impulsionada pelo interesse em diversificar a produção agrícola da região e pelo potencial do Cerrado para mecanização, uso de irrigação e adoção de tecnologias modernas. A migração de materiais genéticos adaptados e a seleção de cultivares mais tolerantes às condições edafoclimáticas do Cerrado, como temperaturas mais amenas no inverno, baixa umidade relativa e solos de baixa fertilidade natural, foram fundamentais para o estabelecimento da cultura (Veiga et al., 2021).

As regiões de maior destaque nesse processo de introdução e consolidação da cafeicultura conilon no Cerrado incluem áreas do noroeste de Minas Gerais, oeste da Bahia e sul do Tocantins. Nessas localidades, além do clima favorável em determinados períodos do ano, o uso de irrigação, práticas de manejo intensivo e o desenvolvimento de clones adaptados ao fotoperíodo dessas latitudes possibilitaram o sucesso da cultura (Baqueta et al., 2024; Marcolan et al., 2009). Assim, o Cerrado tem se tornado uma nova fronteira produtiva para o café conilon no Brasil, contribuindo para a descentralização da produção e ampliação da oferta nacional.

3.2.1. Melhoramento genético do café conilon

O melhoramento genético de plantas é uma ciência específica para a modificação das espécies vegetais e tem como intuito aprimorar características das plantas cultiváveis e aumentar a rentabilidade da cultura, como, o aumento da produtividade, introdução de genes que conferem resistência a pragas e doenças, desenvolvimento de materiais genéticos mais adaptados a diferentes condições ambientais, além do aperfeiçoamento de características agronômicas. Para que essa tecnologia seja bem-sucedida, é essencial definir estratégias de melhoramento, conhecer a espécie, sua estrutura genética e herdabilidade das características a serem melhoradas, entender a variabilidade genética do germoplasma e os métodos de melhoramento mais adequados (Ferrão et al., 2007b; Medina Filho et al., 2008).

Quanto ao café conilon, os programas de melhoramento têm como principais objetivos a obtenção de cultivares que reúnam alta produtividade, precocidade, elevada qualidade de grãos, adaptabilidade a vários ambientes, estabilidade de produção, grãos maiores, uniformidade de maturação, tolerância a seca, resistência a pragas e doenças, e outras características agronômicas de interesse, como arquitetura adequada para colheita mecanizada e plantio irrigado via pivô central (Rodrigues et al., 2012). No entanto, embora esses objetivos sejam comuns, sua ênfase e direcionamento variam conforme as condições edafoclimáticas e socioeconômicas de cada região produtora. No Espírito Santo, por exemplo, onde a cafeicultura é predominante em pequenas propriedades sob regime de sequeiro, há maior foco na estabilidade produtiva, rusticidade e tolerância à seca (Ferrão et al., 2007b; Fonseca et al., 2015b). Em Rondônia, onde a expansão recente da cultura se dá em sistemas produtivos mais integrados, com crescente mecanização e transição para o uso de clones melhorados, o foco recai sobre produtividade, adaptabilidade ao ambiente amazônico e resistência a doenças como ferrugem e cercosporiose (Marcolan et al., 2009). Já no Brasil Central, especialmente no Cerrado, as exigências são mais voltadas à compatibilidade com sistemas altamente tecnificados, como plantios irrigados, colheita totalmente mecanizada, arquitetura de planta verticalizada, e seleção de genótipos adaptados as condições edafoclimáticas (Veiga et al., 2021).

A espécie *C. canephora* apresenta autoincompatibilidade do tipo gametofítica, que resumidamente é a incapacidade de uma planta hermafrodita produzir zigotos por meio da autopolinização. No melhoramento genético, a autoincompatibilidade é importante para possibilitar a produção de híbridos sem depender de polinizações manuais e para promover maior variabilidade genética nas populações de plantas.

Segundo Ferrão et al., (2000), o desenvolvimento de variedades clonais é mais comum devido à alta taxa de autoincompatibilidade e à facilidade na obtenção de material para propagação clonal. Uma ampla variabilidade genética, aliada à autoincompatibilidade e à possibilidade de propagação vegetativa em *C. canephora*, favorece o estabelecimento de programas de melhoramento, permitindo ganhos genéticos mais rápidos em comparação com muitas outras espécies perenes.

Quanto aos métodos de melhoramento genético do conilon, as principais estratégias que vêm sendo utilizadas são a seleção clonal, hibridação e seleção recorrente. Embora não envolvam transferência de características entre espécies, a seleção clonal e os híbridos intraespecíficos são métodos eficazes e muito utilizados no melhoramento (Charrier e Berthaud, 1988).

3.3. Cerrado

O Cerrado brasileiro é considerado a savana mais biodiversa do mundo, abrigando cerca de um terço da biodiversidade brasileira e cerca de 5% da flora e fauna mundial (MMA, 1999; Hogan et al., 2002; Sawyer, 2002). Com uma extensão equivalente a 24% do território nacional, ocupa uma área de 2,04 milhões de quilômetros quadrados, sendo o segundo maior bioma brasileiro (EMBRAPA, 2007). O Cerrado está localizado na área central do Brasil (Figura 3), abrangendo os estados de Goiás, Distrito Federal, Tocantins, e parte do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Rondônia, Pará, Maranhão, Piauí e Bahia (Soares et al., 2017; Sano e Ferreira, 2005).



Figura 3: Área do Bioma Cerrado no território brasileiro.

O bioma apresenta uma grande diversidade de fitofisionomias, agrupadas em três grandes categorias: formações florestais, savânicas e campestres. As formações florestais incluem tipos de vegetação caracterizada pela predominância de espécies arbóreas que formam um dossel contínuo, como a mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão. As formações savânicas é constituída do cerrado típico (*Sensu stricto*), cerrado denso, cerrado ralo, parque de cerrado, palmeiral, vereda e cerrado rupestre. Por fim, as formações campestres, que é formado pelos campo sujos, limpo e rupestre. Os critérios para diferenciar os tipos de fitofisionomias são baseados na fisionomia (forma), nos fatores edáficos (ambiente), e na composição florística das espécies vegetais (Ribeiro; Walter, 2008).

O Cerrado abriga as nascentes dos rios São Francisco, Tocantins e as bacias dos rios Paraná e Paraguai. Além disso, os lençóis freáticos deste bioma alimentam as seis das oito maiores bacias hidrográficas do Brasil (Oliveira-Filho; Lima, 2002; Sawyer, 2002). Essa concentração de nascentes é resultado de sua posição central no país e de sua altitude, o que favorece o escoamento de águas para outras regiões (Guaraldo, 2023).

A paisagem do bioma é predominantemente caracterizada por planaltos, mesmo observando alta variação de relevos. As altitudes podem ultrapassar os 900 metros, porém estima-se que cerca de metade de sua área esteja entre 300 e 600 metros de altitude.

Quanto ao clima, segundo Koppen (1936) cerca de 74,6% do bioma pode ser classificado como clima tropical de savana e inverno seco (Aw). A região é caracterizada por duas estações bem definidas: a estação chuvosa, que ocorre no verão, entre outubro e março, e a estação seca, que ocorre no inverno, de abril a setembro (Almeida Júnior et al., 2014). O Cerrado apresenta uma ampla variação térmica, com temperaturas médias do ar entre 22 °C e 27 °C, máximas que podem chegar a 40 °C e mínimas absolutas próximas de 0 °C. Em relação a precipitação, a região apresenta uma distribuição irregular das chuvas, com média anual entre 1.200 a 1.800 mm. Na estação chuvosa, pode ocorrer o fenômeno climático conhecido como verânico, caracterizado por curtos períodos de estiagem, que podem afetar o desenvolvimento de culturas agrícolas (Sette, 2005).

Em relação ao solo do Cerrado, aproximadamente 46% da área do bioma é composto por Latossolos. Esse tipo de solo é caracterizado pela alta acidez, baixos níveis de matéria orgânica, teores reduzidos de cálcio e magnésio trocáveis, baixo índice de saturação de bases e elevados teores de alumínio (Sousa et al., 1989). Embora por muito tempo tenham sido considerados solos inadequados para a agricultura, suas propriedades de profundidade e boa drenagem, aliadas ao avanço tecnológico, como o uso de corretivos e fertilizantes para correção

da acidez e da baixa fertilidade, viabilizaram a expansão da atividade agrícola no bioma (Mueller et al., 1994).

As características físicas e topográficas, que incluem terrenos planos a suavemente ondulados, com correção química, baixa capacidade de retenção de água e resistência à compactação, favorecem o uso intensivo da mecanização e oferecem um alto potencial para a agricultura irrigada (Amabile, 2013; Abelson; Rowe, 1987).

Desde a década de 1960, o Cerrado já era idealizado para se tornar uma potência agrícola, e isso foi possível devido a pesquisa, como a melhoria da fertilidade de seus solos. Atualmente, considerando toda a extensão do bioma Cerrado, o uso e a cobertura da terra é atribuída a diversas atividades.

De acordo com o estudo TerraClass Cerrado, realizado em 2020 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e outras instituições, aproximadamente 49% da área do bioma é coberta por vegetação natural primária, 29% é destinada a pastagens, 15,9% a atividades agrícolas, incluindo cultivos temporários, semiperenes, perenes e silvicultura, enquanto o restante está distribuído entre outras categorias, como a vegetação natural secundária. Esse percentual é maior que o observado em 2018, especialmente devido ao aumento de cultivos temporários de mais de um ciclo, que permitem ao produtor obter duas safras em um único ano agrícola, substituindo áreas anteriormente ocupadas por cultivos temporários de um ciclo ou pastagens. Esse cenário reflete a intensificação do uso da terra e da produção, reduzindo a pressão pela abertura de novas áreas agrícolas.

O Cerrado tem se destacado como uma região com grande potencial para o cultivo do café conilon. Embora o conilon seja tradicionalmente associado a regiões de baixa altitude e altas temperaturas, o avanço do melhoramento genético tem possibilitado o desenvolvimento de variedades mais adaptadas às condições da região, como maior altitude, temperaturas variáveis e períodos de seca.

3.4. Sistemas de Produção de Café Conilon no Cerrado

O cultivo do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) tem sido tradicionalmente associado a regiões de clima quente e úmido, como o Espírito Santo, Rondônia e sul da Bahia. No entanto, nos últimos anos, o avanço de tecnologias de irrigação e manejo tem permitido a expansão dessa cultura para regiões não tradicionais, como o Cerrado

brasileiro, especialmente nas áreas do Cerrado Central (Distrito Federal, Oeste da Bahia, Norte de Minas e Sul de Goiás) e do Cerrado Mineiro (Santin, 2016; Partelli et al., 2020; Sala et al., 2023).

A adaptação do Conilon ao Cerrado foi possível devido a transformações significativas no sistema de produção, uma vez que esta região se caracteriza por um clima com alta luminosidade, estações bem definidas com déficit hídrico marcante no período seco (abril a setembro). Para viabilizar sua exploração, é indispensável o uso da irrigação plena (especialmente por pivô central e gotejamento), assegurando o fornecimento contínuo de água e viabilizando múltiplas floradas ao longo do ano (COVRE, et al., 2015; SOUZA, et al., 2018).

A presença de uma estação seca bem definida favorece a ocorrência de uma suspensão hídrica natural nas plantas, atuando como um fator essencial para a uniformização da florada no início das chuvas e, conseqüentemente, para a sincronização do ciclo produtivo. Nessa região, a adoção da irrigação controlada, somada à maior tolerância do café Conilon às elevadas temperaturas, tem possibilitado a obtenção de altos níveis de produtividade (Assad et al., 2004; Santin, 2016).

Além da irrigação, o sucesso do sistema de produção no Cerrado depende da escolha de clones adaptados, com elevada produtividade, arquitetura compatível com a colheita mecanizada e tolerância a condições de estresse térmico e hídrico. Estudos conduzidos por Sala et al. (2023) em Planaltina-DF demonstraram que clones oriundos do Espírito Santo, quando manejados com irrigação do tipo pivô central e nutrição equilibrada, apresentaram produtividades superiores a 70 sacas ha⁻¹, demonstrando o alto potencial da cultura na região.

Outro ponto essencial do sistema produtivo é como deve ser planejado considerando a mecanização e o sombreamento. Em geral, adota-se um espaçamento de 3,5 a 4,0 m entre linhas e 0,7 a 1,0 m entre plantas, com condução em sistema de saias laterais ou haste única, conforme o clone e o nível tecnológico da propriedade (Fernandes et al., 2012; Veiga et al., 2021). A mecanização da colheita e das podas é uma estratégia essencial para viabilizar economicamente a cultura em larga escala no Cerrado, dadas as limitações de mão de obra e os altos custos de produção.

A nutrição mineral também assume papel estratégico, sendo recomendada a adubação baseada na análise de solo e folhas, com ajustes sazonais conforme as exigências fenológicas do cafeeiro. A aplicação via fertirrigação tem mostrado bons resultados na região, tanto em produtividade quanto em uniformidade de maturação (Ribeiro, 2023).

O sistema de produção de Conilon no Cerrado enfrenta desafios relacionados ao uso intensivo de insumos e à conservação do solo e da água. Práticas como o uso de cobertura vegetal, terraceamento e manejo integrado de pragas e doenças (MIP e MID) são fundamentais para garantir a longevidade da lavoura e a manutenção da qualidade ambiental (Veiga et al., 2020).

Portanto, o sistema de produção de café Conilon no Cerrado exige uma abordagem tecnificada e intensiva, fundamentada no uso racional da água, na escolha criteriosa de materiais genéticos e em práticas de manejo que favoreçam a mecanização e a sustentabilidade.

3.5. Fisiologia Vegetal

A fisiologia vegetal é a área da ciência dedicada a compreender os processos que regulam o funcionamento das plantas. Seu objetivo é analisar como as diferentes estruturas vegetais afetam suas funções e como esses mecanismos influenciam o crescimento e o desenvolvimento das espécies. O estudo abrange diversos processos essenciais, como nutrição, fotossíntese, respiração, regulação hormonal e outros fatores que determinam o metabolismo e a adaptação das plantas ao ambiente.

Taiz et al. (2021) destacam que o crescimento, desenvolvimento e funcionamento das plantas ocorrem em interação com os fatores abióticos e bióticos do ambiente, como a disponibilidade de água, temperatura, radiação solar, patógenos e a presença de organismos benéficos ou competidores. No entanto, além desses fatores ambientais, o desempenho fisiológico das plantas também é fortemente influenciado por seus fatores genéticos. O genótipo determina, por exemplo, a capacidade da planta de tolerar estresses ambientais, seu potencial de crescimento, eficiência no uso de recursos e resposta a estímulos externos. Assim, o metabolismo vegetal apresenta variações resultantes tanto da constituição genética da planta quanto das condições ambientais às quais está submetida, sendo a fisiologia vegetal o campo do conhecimento que busca compreender como essas interações moldam os processos vitais, como a fotossíntese, a transpiração, o crescimento radicular e a floração.

O resultado da interação entre a planta e o ambiente, juntamente com alguns fatores externos, são fundamentais para responder sobre a adaptação ao déficit hídrico e a tolerância a seca. A água desempenha um papel fundamental para a manutenção das funções vitais das plantas, participando no transporte de nutrientes, na fotossíntese, na manutenção da estrutura celular, além de influenciar diretamente no crescimento e desenvolvimento das plantas. A

principal forma de perda de água nas plantas ocorre pela transpiração, que é influenciada principalmente pela disponibilidade de água no solo, temperatura, umidade do ar, intensidade da luz e velocidade do vento.

Em condições de déficit hídrico, as plantas desenvolvem mecanismos para minimizar essa perda e garantir sua sobrevivência (Munns; Tester, 2008). Esses mecanismos auxiliam na redução da transpiração e na diminuição da perda de água pela epiderme. Quando as plantas são submetidas a seca, elas ativam respostas fisiológicas e bioquímicas para sobreviver a esses estresses.

Diversas estruturas e processos fisiológicos das plantas são fundamentais para compreender os mecanismos de controle do estresse hídrico e a tolerância à seca. Os estômatos, por exemplo, desempenham um papel essencial na regulação da transpiração, controlando a perda de água para o ambiente e contribuindo para a manutenção do balanço hídrico (Flexas et al., 2016). O conteúdo de água nas folhas é um indicador eficiente do nível de estresse hídrico, pois a perda excessiva pode comprometer a integridade das membranas celulares, resultando em danos estruturais e, em casos extremos, na morte celular. Além disso, a estabilidade da membrana celular é outro parâmetro relevante, pois reflete a capacidade da planta de preservar suas funções fisiológicas sob condições de déficit hídrico (Taiz et al., 2021).

Outros indicadores importantes estão associados a processos bioquímicos, como o potencial hídrico, que mede a disponibilidade de água nos tecidos vegetais, e o estresse oxidativo, que avalia o impacto do acúmulo de espécies reativas de oxigênio (EROs), substâncias que podem causar danos às células durante períodos de seca (Chaves et al., 2003).

3.5.1. Estômatos

Os estômatos são estruturas importantes da planta, que estão diretamente ligadas no controle e regulação da fotossíntese e transpiração. Essas estruturas estão presentes em todo reino vegetal, exceto no grupo das algas. Ocorrem na epiderme dos órgãos aéreos, ou seja, caules herbáceos, pecíolos, em alguns frutos, mas principalmente são encontradas nas folhas.

O controle estomático é a principal maneira de controlar as trocas gasosas através das superfícies foliares da planta, de forma que, maximize a fotossíntese enquanto diminui a transpiração (Ronchi e DaMatta, 2007). O número de estômatos por unidade de área varia em função da influência dos fatores ambientais. Por exemplo, as folhas que apresenta emissão solar

direta, possuem mais células por unidade, conseqüentemente, possui também mais estômatos quando comparado com folhas de sombra.

O movimento de abertura e fechamento estomático depende das peculiaridades fisiológicas das células guardas, juntamente com as condições ambientais. A abertura é causada por um aumento na pressão de turgescência ou turgor das células guardas, ou seja, quando a pressão osmótica nessas células aumenta e a água se move das células subsidiárias para as estomáticas, aumentando a pressão de turgescência, e resultando na abertura do aparato estomático.

É inevitável a perda de água das plantas, ao absorverem CO_2 , pelas folhas. As estruturas responsáveis por esse processo são os estômatos, e a forma de controlar o grau de abertura dessas estruturas pode ser atribuída pela condutância estomática. Então, a condutância estomática é uma medida que indica a capacidade das folhas realizarem trocas gasosas com o meio, ou seja, vapor d'água e o CO_2 . Esse controle é muito importante, pois é capaz de mensurar alguns fatores fundamentais que podem afetar o desenvolvimento vegetativo, como por exemplo a deficiência hídrica. A temperatura foliar pode ser usada como indicador do grau de déficit hídrico da planta, pois quando o déficit de água no solo provoca o fechamento dos estômatos, a radiação interceptada pela folha tende a promover um aquecimento foliar, que em níveis consideráveis prejudica o metabolismo da planta (Oliveira et al., 2004).

Segundo Bianchi et al. (2007), o déficit hídrico pode levar as células a perder sua turgidez, dependendo da sua intensidade, provocando alterações nos processos de expansão celular, na fotossíntese e nas trocas gasosas com o ambiente.

O mecanismo de abertura e fechamento dos estômatos, assim como a avaliação de condutância estomática são diretamente influenciados pelo ambiente (Zeiger, 1983). É importante salientar que os efeitos causados pelo fechamento estomático podem ser ainda mais agravados quando ocorrem simultaneamente com condições ambientais não favorável ao desenvolvimento das espécies (Chaves et al., 2003). Essa compreensão é essencial para a gestão eficaz de plantas cultiváveis diante das complexas interações entre disponibilidade hídrica, estruturas fisiológicas e condições ambientais.

3.5.1.1. Fatores ambientais e o movimento estomático

Os estômatos são estruturas que apresenta relação positiva quanto as condições e estímulos ambientais, tornando-os capazes de alterar seu grau de turgescência devido a fatores

que afetam essa propriedade. Irradiação solar, temperatura, umidade do ar, concentração de CO₂, umidade do solo, são alguns dos principais fatores ambientais que impactam o mecanismo estomático (Taiz et al., 2021).

Além do ambiente, a própria planta apresenta processos que influenciam esses mecanismos, são eles: estado de hidratação da planta e dos tecidos da folha, balanço hormonal, e fatores ligados a fenologia da folha (Vieira et al., 2010).

Em relação as condições ambientais, a disponibilidade de água, a luz, e a temperatura são um dos principais fatores que controlam a abertura e fechamento estomático. A disponibilidade de água disponível no solo e no corpo da planta influencia diretamente no movimento estomático. Quando a taxa de transpiração supera a de absorção de água pelas raízes, ocorre o que chamamos de déficit hídrico, ocasionando o fechamento estomático, para minimizar a perda de água da planta para o ambiente. Além disso, o hormônio ácido abscísico (ABA) é produzido em resposta ao estresse hídrico, induzindo o fechamento estomático mesmo na presença de luz.

Em relação a luz, a maioria das plantas tem seus estômatos abertos com a presença da irradiação solar, desde que haja uma boa disponibilidade de água. Durante o dia, a luz ativa bombas de prótons nas células-guarda, promovendo a entrada de íons potássio (K⁺) e, conseqüentemente, a entrada de água por osmose. Isso causa a turgescência das células e a abertura do estômato. No período noturno, a ausência de luz reduz esse processo, levando ao fechamento dos poros. Para a abertura na luz, não é necessária uma elevada iluminação e o tempo varia de 15 a 60 minutos. As plantas CAM se diferenciam das outras em relação a abertura dos estômatos com a presença de luz, pois seus estômatos são abertos durante a noite e se mantem fechados no período diurno, protegendo a planta de dessecação.

A temperatura influencia a atividade metabólica das células-guardas e a taxa de transpiração. Temperaturas muito elevadas (30 a 35°C) e muito baixas (5 a 10°C) provocam o fechamento dos estômatos, devido ao efeito sobre a atividade metabólica das células e sobre o conteúdo interno de água. Em temperaturas baixas os movimentos nos estômatos são lentos e em temperaturas elevadas ocorre o acúmulo de CO₂ nos espaços intercelulares, em função do aumento na taxa de respiração celular, propiciando o fechamento dos estômatos.

Os estômatos se comportam como sensores quando tratamos de umidade de ar, captando as variações de concentração de vapor de água ambiente. Quando o ar está seco (baixa umidade) a diferença de potencial hídrico entre a folha e o ambiente é maior, aumentando a perda de água

e levando ao fechamento estomático. Em ambientes úmidos, a transpiração é reduzida, permitindo que os estômatos fiquem abertos por períodos mais longos.

Em relação a concentração de CO₂, altas concentrações provocam o fechamento dos estômatos, já concentrações baixas de CO₂ internamente na planta favorecem uma abertura estomática, isso se dá devido a necessidade da fixação de gás carbônico da atmosfera interna da folha em compostos orgânicos. Na prática, baixa concentração de CO₂ fazem com que os estômatos se abram para permitir maior entrada do gás. Quando é verificado um acúmulo maior de CO₂ nos espaços intercelulares, os estômatos se fecham para evitar a perda de água.

Referindo-se aos processos que a própria planta apresenta e que influencia na abertura e fechamento estomático, existe uma relação direta entre o estado de hidratação das folhas, demanda atmosférica e absorção de água pelas raízes (Tardieu et al., 2018). Quando é verificado uma redução no estado de hidratação das folhas, ocorre o fechamento dos estômatos a partir de um potencial de água crítico, isso é devido à redução na pressão de turgescência global da célula. Outro fator importante, que tem relação na abertura e fechamento dos estômatos, é o envelhecimento das folhas, que tende a ter a sua resistência estomática diminuída, ocasionando um controle estomático menos eficiente (Menezes et al., 2017; Liu et al., 2020).

3.5.1.2. Aparato estomático e transpiração do café conilon

Os estômatos são classificados conforme seu formato e arranjo, sendo que existem na literatura aproximadamente quatorze tipos morfológicos de estômatos descritos (Dilcher, 1974; Baranova, 1992). O café conilon apresenta predominantemente estômatos do tipo actinocítico, que possuem cinco ou mais células subsidiárias, dispostas de maneira radial, envolvendo as células-guardas (Carvalho et al., 2001).

Comparado ao café arábica, o café canéfora possui maior densidade de estômatos, embora com dimensões menores. Além disso, ambas as espécies apresentam respostas fisiológicas sensíveis à disponibilidade hídrica, podendo ser utilizadas para avaliar os efeitos do déficit hídrico, sendo a canéfora a que demonstra uma redução mais pronunciada na abertura estomática à medida que diminui a disponibilidade de água, o que evidencia sua elevada sensibilidade estomática ao déficit hídrico (Pinheiro et al. 2005).

Quando a disponibilidade de água no solo diminui, o potencial hídrico da planta também é reduzido, limitando a absorção de água (Paiva e Oliveira, 2006). Esse fenômeno provoca um fechamento estomático acentuado, que embora resulte na diminuição da fotossíntese, representa

um meio de auxiliar na tolerância ao déficit hídrico do café conilon. Em outros termos, plantas que apresentam um fechamento estomático maior ou mais rápido em resposta a baixa disponibilidade de água no solo, possuem maior eficiência ao uso da água e sintomas menos aparentes em relação ao estresse (Matos et al., 2016).

O estômato do conilon responde às variações na demanda evaporativa de forma independente do estado hídrico das folhas, mostrando alta sensibilidade estomática, mesmo que inferior ao da espécie arábica (Pinheiro et al., 2005; DaMatta e Ramalho, 2006). A explicação para essa menor sensibilidade estomática do conilon em comparação aos cafés arábica, pode ser devido a maior condutância hidráulica do xilema e maior densidade de venação foliar, favorecendo reposições mais rápidas quanto a água perdida das plantas pela transpiração, e maior tempo de abertura estomática, o que garante alta absorção de CO₂ por menor unidade de tempo, e assim, maiores taxas fotossintéticas (DaMatta, 2004).

3.5.2. Conteúdo relativo de água

O Conteúdo Relativo de Água (CRA) é uma medida fisiológica para avaliar o estado hídrico das plantas, refletindo a relação entre a quantidade de água presente na folha e sua capacidade máxima de retenção (Weatherley, 1950; Taiz et al., 2021). Essa medida que reflete o balanço entre a absorção e a perda de água está diretamente relacionado ao potencial hídrico das plantas (Larcher, 2003).

O potencial hídrico das plantas e o conteúdo relativo de água são interdependentes e ajudam a compreender como as plantas regulam seu estado hídrico diante de variações ambientais (Kramer; Boyer, 1995). O potencial hídrico determina o movimento da água na planta, se movendo da região de maior potencial hídrico para a de menor potencial hídrico. Esse movimento segue a rota solos – raízes – xilema – folhas – atmosfera (transpiração) (Lambers et al., 2008). Já o conteúdo relativo de água, reflete a quantidade de água presente no tecido vegetal em relação à sua capacidade máxima de armazenamento.

Ambos os parâmetros são bons indicativos de estresse hídrico. Na prática, quando o solo está bem irrigado, o potencial hídrico do solo e das raízes é próximo de zero, facilitando a absorção de água e mantendo o CRA em níveis elevados (Lambers et al., 2008). No entanto, durante períodos de seca, o solo perde água, o potencial hídrico diminui e a planta reduz o CRA para evitar perda excessiva por transpiração. Esse processo pode afetar a fotossíntese, o crescimento e a produtividade das plantas (Flexas et al., 2006).

O Conteúdo relativo de água pode ser influenciado por diversos fatores ambientais e fisiológicos, entre os quais se destacam: disponibilidade de água no solo, temperatura, radiação solar, estresse hídrico e fechamento estomático. A compreensão dessas interações é essencial para prever o comportamento das plantas em diferentes condições ambientais, auxiliando no manejo da irrigação e no desenvolvimento de estratégias para reduzir os impactos do estresse hídrico na agricultura (Barrs; Weatherley, 1962; Flexas et al., 2002; Xu et al., 2010).

3.5.3. Estabilidade da membrana celular

A membrana celular, composta principalmente por uma bicamada lipídica, proteínas e carboidratos, é uma estrutura fundamental para a integridade das células vegetais (Alberts et al., 2017). Essa membrana desempenha importantes funções, como por exemplo, a regulação do transporte de substância, a manutenção do potencial elétrico da célula, a comunicação celular e a proteção contra patógenos.

A membrana celular exerce uma função essencial como barreira seletiva, pois regula o transporte de íons, moléculas e água, garantindo a estabilidade física da célula e a manutenção do equilíbrio osmótico (Taiz et al., 2021). Essa regulação é responsável por preservar o potencial da membrana, um fator crucial para processos fisiológicos como fotossíntese, respiração celular e transmissão de sinais (Alberts et al., 2017). Além disso, a membrana celular está diretamente relacionada à percepção de estímulos ambientais, incluindo variações na disponibilidade hídrica, e na ativação de mecanismos fisiológicos adaptativos, como a modulação da expressão gênica e a produção de osmólitos protetores, que auxiliam na tolerância ao estresse hídrico (Zhu, 2016).

A estabilidade da membrana celular é fundamental para a sobrevivência e adaptação das plantas em condições de estresse hídrico, pois influencia diretamente a capacidade da célula de manter sua integridade estrutural e funcional durante períodos de déficit de água (Taiz et al., 2021). A desidratação celular provoca alterações na organização da membrana, modificando sua fluidez, permeabilidade e estabilidade, o que pode comprometer processos fisiológicos. Essas mudanças podem levar a danos irreversíveis, como a perda da compartimentação celular e da morte celular programada, ou, ativar mecanismos de tolerância ao estresse (Farooq et al., 2009; Zhu, 2016).

A desidratação celular, causada pela deficiência de água no solo ou pela alta taxa de transpiração, resulta em alterações na fluidez da membrana, perda de seletividade e

permeabilidade, formação de espécies reativas de oxigênio e desestabilização da bicamada lipídica, afetando diretamente a integridade da membrana celular (Hoekstra et al., 2001). Os principais fatores que influenciam na estabilidade dessas membranas, são: temperatura, forças mecânicas (devido à pressão osmótica), interação com íons e pH e peroxidação lipídica.

A estabilidade da membrana celular é essencial para a sobrevivência das plantas sob estresse hídrico. A perda de água desencadeia uma série de alterações estruturais e funcionais que comprometem a integridade da membrana (Taiz et al., 2021).

3.6. Estresse hídrico do café conilon em condições de Cerrado

O café Conilon (*Coffea canephora*) tem se destacado como uma alternativa promissora para o cultivo em diferentes regiões do Brasil, especialmente devido à sua maior resistência a condições adversas, como altas temperaturas e solos com baixa fertilidade. Essa rusticidade, aliada à capacidade de adaptação a diversos ambientes edafoclimáticos, tem viabilizado sua introdução em novas fronteiras agrícolas, como o Cerrado brasileiro. Contudo, ao ser implantado nesse bioma, o Conilon enfrenta desafios ambientais significativos, sobretudo o estresse hídrico decorrente da estação seca prolongada.

O bioma Cerrado apresenta características que limitam o desempenho fisiológico de diversas culturas agrícolas: déficit hídrico sazonal bem definido (de abril a setembro), elevada radiação solar, temperaturas médias entre 20 °C e 28 °C, e solos naturalmente ácidos e pobres em nutrientes (Sano et al., 2008; Correia Filho et al., 2023). Diante desse cenário, o sucesso do cultivo do café Conilon depende de uma compreensão aprofundada da fisiologia da planta frente às limitações impostas por esse ambiente.

O estresse hídrico pode ser definido como a redução do potencial hídrico da planta a níveis abaixo do ideal, afetando negativamente seus processos fisiológicos. Entre os efeitos mais críticos estão a inibição da fotossíntese, respiração, transpiração e crescimento radicular, especialmente quando esses processos coincidem com fases fenológicas sensíveis da cultura. Portanto, compreender as respostas fisiológicas do Conilon a essas condições é essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo sustentável no Cerrado.

Embora o Conilon seja nativo de regiões tropicais úmidas e apresente altas taxas fotossintéticas sob temperaturas entre 25 °C e 30 °C, sua eficiência fotossintética é rapidamente comprometida sob estresse térmico e hídrico (DaMatta et al., 2007). Durante a estação seca no Cerrado, a fotossíntese líquida tende a ser significativamente reduzida, especialmente em

genótipos menos tolerantes ao déficit hídrico (Praxedes, 2003). A condutância estomática, por sua vez, desempenha um papel central na regulação das trocas gasosas e conservação hídrica. O fechamento estomático em horários de maior temperatura é uma estratégia de defesa comum no Conilon, mas que também reduz a assimilação de CO₂ e, conseqüentemente, a produtividade (Thioune et al., 2020).

Outro aspecto fundamental é a eficiência no uso da água (EUA), que expressa a capacidade da planta de converter água absorvida em biomassa ou rendimento. Apesar de apresentar adaptação a climas quentes, o Conilon ainda é sensível à limitação hídrica, o que exige a seleção de clones com maior EUA. Ensaios no Cerrado Central demonstraram variações significativas entre genótipos quanto à manutenção da atividade estomática sob déficit hídrico, evidenciando o potencial do melhoramento genético para adaptar a cultura às condições locais (Santos et al., 2019).

O sistema radicular do Conilon, geralmente menos profundo do que o do Arábica, representa uma limitação fisiológica adicional em ambientes com baixa disponibilidade hídrica. No entanto, práticas de manejo, como irrigação suplementar, correção do solo, aumento da matéria orgânica e uso de genótipos com maior desenvolvimento radicular, podem compensar essa limitação e favorecer o bom desempenho da cultura (Guerra et al., 2019).

Além da redução da fotossíntese, o estresse hídrico pode provocar desequilíbrios metabólicos e a formação excessiva de espécies reativas de oxigênio (EROs), o que gera danos oxidativos às membranas celulares e às proteínas. Como resposta, o café Conilon ativa mecanismos antioxidantes e acumula solutos osmoprotetores, como prolina e açúcares solúveis, que ajudam a manter a homeostase celular. Morfofisiologicamente, a planta pode apresentar alterações como redução na área foliar, espessamento da cutícula e modificação na densidade estomática, adaptações que contribuem para a economia de água e manutenção do metabolismo básico (Silva et al., 2010).

Um ponto crucial para o sucesso do cultivo do Conilon no Cerrado está na uniformização da florada, processo altamente dependente da disponibilidade hídrica. Em regiões com estação seca prolongada, a irrigação controlada no final do período seco é fundamental para induzir a floração de forma homogênea. Essa uniformidade é estratégica, pois sincroniza as fases fenológicas, melhora a eficiência das práticas de manejo (como adubação e controle de pragas), favorece o enchimento dos grãos e, principalmente, aumenta a produtividade e a qualidade da colheita. Estudos indicam que a irrigação estratégica em pré-florada pode promover não apenas a indução floral, mas também a padronização da produção ao longo dos ciclos (Souza, 2016).

Apesar das adversidades, o potencial produtivo do Conilon no Cerrado é significativo, desde que sejam adotadas práticas agronômicas adequadas. Estratégias como o monitoramento fisiológico contínuo, uso de irrigação controlada, seleção de clones adaptados, correção e manejo adequado do solo, adubação equilibrada e práticas conservacionistas, como cobertura vegetal e sombreamento leve, têm se mostrado eficazes para mitigar os efeitos do estresse hídrico e melhorar o desempenho fisiológico da cultura (Veiga et al., 2021).

Alguns trabalhos evidenciam como o café conilon é afetado com o estresse hídrico, e a importância de um bom manejo para auxiliar o desempenho de clones no Cerrado. Pinheiro et al. (2005) observaram ampla variação na condutância estomática e na taxa fotossintética entre diferentes clones de *Coffea canephora* sob condições de déficit hídrico, destacando mecanismos distintos de controle de uso da água e tolerância à seca. Por outro lado, Souza (2016) destacou que a supressão e o retorno controlado da irrigação em períodos críticos podem favorecer a recuperação fisiológica das plantas e contribuir para maior uniformidade e produtividade da cultura.

Em síntese, a fisiologia do café Conilon sob condições do Cerrado evidencia uma espécie com boa capacidade de adaptação, mas que ainda exige cuidados específicos para alcançar seu pleno potencial produtivo. A adoção de clones geneticamente adaptados, a aplicação de técnicas de irrigação para a indução e uniformização da florada, e o manejo integrado da água, do solo e do microclima são medidas indispensáveis para o êxito da cafeicultura Conilon nesse bioma.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELSON, P. H.; ROWE, J. W. A New Agricultural Frontier. New York, **Science**, v.235, n.4795, p.1450-1451. 1987.

ALBERTS, B.; JOHNSON, A.; LEWIS, J.; MORGAN, D.; RAFF, M.; ROBERTS, K.; HUNT, T. **Biologia molecular da célula**. Artmed Editora, 2017.

ALEGRE, E. S. **Respostas morfofisiológicas e herança materna para tolerância à seca em progênies de café conilon**. 2017. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2017.

ALKIMIM, E. R.; CAIXETA, E. T.; SOUSA, T. V.; GOIS, I. B.; DA SILVA, F. L.; SAKIYAMA, N. S.; ZAMBOLIM, L.; ALVES, R. S.; DE RESENDE, M. D. V. Designing the best breeding strategy for *Coffea canephora*: genetic evaluation of pure and hybrid individuals aiming to select for productivity and disease resistance traits. **PLoS One**, v.16, n.12, p.e0260997, 2021.

ALMEIDA JÚNIOR, E. B.; CHAVES, L. J.; SOARES, T. N. Caracterização genética de uma coleção de germoplasma de cagaiteira, uma espécie nativa do cerrado. **Bragantia**, v.73, n.3, p.246-252, 2014.

AMABILE, R. F. **Caracterização molecular, morfoagronômica e de qualidade de grãos de genótipos elite de cevada irrigada no cerrado**. 2013. Tese (Doutorado em agronomia) – UnB-Universidade de Brasília, Brasília, p.230, 2013.

ASSAD, E. D.; PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ÁVILA, A. M. H. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE CAFÉ (ABIC). **O café brasileiro na atualidade**. 2021. Disponível em: <<https://www.abic.com.br/tudo-de-cafe/o-cafe-brasileiro-na-atualidade/>>. Acesso em: Out. 2024.

BAQUETA, M. R.; DINIZ, P. H. G. D.; PEREIRA, L. L.; ALMEIDA, F. L. C.; VALDERRAMA, P.; PALLONE, J. A. L. An overview on the Brazilian *Coffea canephora*

scenario and the current chemometrics-based spectroscopic research. **Food Research International**, v.194, p.114866, 2024.

BARANOVA, M. A. Principles of comparative stomatographic studies of flowering plants. **Botanical Review**, v.58, p.49-99. 1992.

BARRS, H.; WEATHERLEY, P. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian Journal of Biological Science**, v.15, n.3, p.413–428. 1962.

BIANCHI, C. A. M.; BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; HECKLER, B. M. M.; COMIRAN, F. Condutância da folha em milho cultivado em plantio direto e convencional em diferentes disponibilidades hídricas. **Ciência Rural**, v. 37, p.315 – 322. 2007.

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, L. M. C.; SILVA, E. A. M.; AZEVEDO, A. A.; MOSQUIM, P. R.; CECOM, P. R. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro Catuaí Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, DF, v.36, p.411-416, 2001.

CARVALHO, F. G.; SERA, G. H.; A, E.; SERA, T.; FONSECA, I. C. B.; CARDUCCI, F. C.; SHIGUEOKA, L. H.; HOLDERBAUM, M. M.; COSTA, K. C. Tolerância à seca em mudas de genótipos de café portadores de genes de diferentes espécies. **Ciência do Café**, v.2, p.156–163, 2017.

CECAFÉ – CONSELHO DOS EXPORTADORES DE CAFÉ DO BRASIL. **Relatório mensal de exportações**. São Paulo, 2023. Disponível em: <<https://www.cecafe.com.br>>. Acesso em: Jun. 2025.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. **Botanical classification of coffee**. In: CLIFFORD, M. N.; WILLSON, K. C. (Eds.). *Coffee: botany, biochemistry and production of beans and beverage*. London: Croom Helm; Westport Conn. p.13-47. 1985.

CHARRIER, A.; BERTHAUD, J. **Principles and methods in coffea plant breeding**: Coffea canephora Pierre. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Eds.). Coffee: Agronomy, London: Elsevier Applied Science, p. 167-197. 1988.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought- from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, n.3, p.239-264. 2003.

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

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de café – safra 2023 – Quarto Levantamento**. Brasília, 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>>. Acesso em: Nov. 2024.

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, p.787-804, 1961.

CORREIA FILHO, W. L. F.; DE OLIVEIRA-JÚNIOR, J. F.; SANTIAGO, D. B.; ABDO, H. G.; ALMOHAMAD, H.; AL DUGHAIRI, A. A.; da SILVA JUNIOR, C. A. The assessment of climatic, environmental, and socioeconomic aspects of the Brazilian Cerrado. **Ecological Processes**, v.12, n.1, p.19, 2023.

COVRE, A. M.; PARTELLI, F. L.; GONTIJO, I.; ZUCOLOTO, M. Distribuição do sistema radicular de cafeeiro conilon irrigado e não irrigado. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.50, n.11, p.1006-1016, 2015.

DaMATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v.16, p.1-6, 2004.

DaMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. **Brazilian Journal Plant Physiology**, v.18, p.55-81. 2006.

DaMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, p.485-510, 2007.

DAVIS, A. P.; TOSA, J.; RUCH, N.; FAY, N. F. Growing coffee: *Psilanthus* (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data, implications of size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffee. **Botanical Journal of Rehinneon Society**, London, v.167, p.1-21, 2011.

DELFIM NETTO, A. **O problema do café no Brasil**. Instituto de Pesquisas Económicas. 1981.

DENOEUD, F.; CARRETERO-PAULET, L.; DEREPPER, A.; DROC, G.; GUYOT, R.; PIETRELLA, M.; LASHERMES, P. The coffee genome provides insight into the convergent evolution of caffeine biosynthesis. **Science**, v.345, n.6201, p.1181-1184. 2014.

DILCHER, D. L. Approaches to the identification of angiosperm leaves. **Botanical Review**, v.40, p.1-157. 1974.

EMBRAPA. **Agência de Informações. Bioma Cerrado**. 2007. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia16/AG01/Abertura.html>>. Acesso em: Out. 2024.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D.; BASRA, S. M. A. Plant drought stress: Effects, mechanisms and management. **Agronomy for Sustainable Development**, v.29, p.185-212. 2009.

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*. p. 87-113. 1986.

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

FERRÃO, R. G. et al. EMCAPER 8151 – Robusta tropical: variedade melhorada de café conilon de propagação por sementes para o estado do Espírito Santo. In: *Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil*, 1. Poços de Caldas, 2000. Resumos expandidos. Brasília. Embrapa Café, 2000.

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, ES: Incaper, Cap. 3. p. 66-91, 2007a.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; VERDIN FILHO, A. C.; ZUCOLOTO, M.; FERRÃO, M. A. G.; PEZZOPANE, J. R. M. **Melhoramento genético do café conilon**. In: ZAMBOLIM, Luiz (org.). *O estado da arte da pesquisa em doenças de plantas no Brasil*. Viçosa: UFV, p. 1053-1080. 2007b.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C. **Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas**. 4. ed. rev. Vitória: Incaper, 2012.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência e Extensão Rural (INCAPER). Vitória, ES. 384p. 2017.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought-inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of botany**, v.89, n.2, p.183-189, 2002.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C(3) plants. **Plant Biology**, v.8, n.5, p.1-11. 2006.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C. **O Café Conilon**. IN: FONSECA, A. F. A. da.; SAKIYAMA, N. S.; BORÉM, A. (Eds.). *Café conilon do plantio à colheita*. Viçosa, MG: UFV. p. 9 – 28. Cap.1. 2015.

FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, R. G.; VERDIN FILHO, A. C.; ZUCOLOTO, M.; FERRÃO, M. A. G.; PEZZOPANE, J. R. M. **Café conilon: cultivo e qualidade**. Vitória: Incaper, 112 p. 2015.

FURTADO, C. **Formação econômica do Brasil**. Companhia das letras. 2020.

GUARLADO, L. **O que é Cerrado: característica e biodiversidade**. IPAM Amazônia. 2023. Disponível em: https://ipam.org.br/o-que-e-cerrado-caracteristicas-biodiversidade-e-desmatamento/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiA3ZC6BhBaEiwAeqfvyq5htRvxkoBGZA9J

OMh3BgDs_l-GRV10lhpJPb8xXBqdfmcOvGZKLRoCJ4IQAxD_BwE. Acesso em: Set. 2024.

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, (Embrapa Cerrados. Comunicado técnico, 122), p.4, 2005.

HOEKSTRA, F. A.; GOLOVINA, E. A.; BUITINK, J. Mechanisms of plant desiccation tolerance. **Trends in Plant Science**, v.6, n.9, p.431-438. 2001.

HOGAN, D. J.; CUNHA, J. M. C.; CARMO, R. L. **Uso do solo e mudança de sua cobertura no Centro-Oeste do Brasil**: consequências demográficas, sociais e ambientais. In: HOGAN, D. J.; HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. (org.). Migração e ambiente no Centro-Oeste. Campinas, NEPO/UNICAMP: PRONEX, p. 149-174. 2002.

ICO – INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. Coffee market report: trends and statistics 2023. Londres, 2023. Disponível em: <<https://www.ico.org>>. Acesso em: Jun. 2025.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water Relations of Plants and Soils**. Academic Press. 1995.

KOPPEN, W. **Das geographische system der klimate**. In: HANDBUCH der Klimatologie. Berlin: Gebruder Borntraeger, V.1, part C., p. 1-44. 1936.

LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology**. Springer Science & Business Media. 2008.

LARCHER, W. **Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups**. Springer Science & Business Media. 2003.

LIU, C.; HÖLTTÄ, T.; TIAN, X.; BERNINGER, F.; MÄKELÄ, A. Weaker light response, lower stomatal conductance and structural changes in old Boreal conifers implied by a Bayesian hierarchical model. **Frontiers in plant science**, v.11, p.579319, 2020.

MALTA, M. M. **Brasil - novo produtor de café robusta**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO CAFÉ ROBUSTA. 1986, Vitória. Anais... Vitória, ES: SEAG, p. 19-28. 1986.

MARCOLAN, A. L.; RAMALHO, A. R.; MENDES, A. M.; TEIXEIRA, C. A. D.; FERNANDES, C. F.; COSTA, J. M. N.; VIEIRA JÚNIOR, J. R.; OLIVEIRA, S. J. M.; VENEZIANO, W. Cultivo dos cafeeiros conilon e robusta para Rondônia. 3.ed., Porto Velho: Embrapa Rondônia; Emater-RO, 61p. 2009.

MARRACCINI, P.; VIEIRA, L. G. E.; VINECKY, F.; ELBELT, S.; VIEIRA, N. G.; CARNEIRO, F. A.; SILVA, V. A.; ALEKCEVETCH, J. C.; POT, D.; DA SILVA, F. R.; DaMATTa, F. M.; RAMOS, H. J. O.; SUJII, P. S.; ALVES, G. S. C.; FERRÃO, M. A. G.; LEROY, T.; ANDRADE, A. C. Differentially expressed genes and proteins upon drought acclimation in tolerant and sensitive genotypes of *Coffea canephora*. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.4191-4212, 2012.

MARTINS, A. L. **História do café**. Editora Contexto: São Paulo. 2ª ed. 2015.

MATOS, N. M. S.; RODRIGUES-BRANDÃO, I.; RODRIGUES, G. C.; VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F.; GUIMARÃES, R. J.; LOPES, A. M.; VIANA, M. T.; CARVALHO, M. A. F. Respostas fisiológicas de clones de *Coffea canephora* submetidos ao déficit hídrico controlado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 42, 2016, Serra Negra, SP. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2016.

MEDEIROS, R. D. V. V.; RODRIGUES, P. M. A. A economia cafeeira no Brasil e a importância das inovações para essa cadeia. **A Economia em Revista-AERE**, v.25, n.1, p.1-12. 2017.

MEDINA FILHO, H. P.; BORDGNON, R.; CARVALHO, C. H. S. **Desenvolvimento de novas cultivares de café arábica**. In: CARVALHO, C. H. S. (Org.). Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: Embrapa Café, p. 79-102, 2008.

MENEZES-SILVA, P. E.; SANGIARD, L. M.; ÁVILA, R. T.; MORAIS, L. E.; MARTINS, S. C.; NOBRES, P.; PATREZE, C. M.; FERREIRA, M. A.; ARAÚJO, W. L.; FERNIE, A. R. Photosynthetic and metabolic acclimation to repeated drought events play key roles in drought tolerance in coffee. **Journal Experimental Botany**, v.68, n.15, p.4309–4322, 2017.

MERGA, D.; BEKSISA, L.; WAKUMA, M.; ALEMAYEHU, D. Genetic Variability of Coffee (*Coffea arabica* L.) Germplasm in Biennial Bearing and Its Influence on Selection Efficiency. **International Journal of Agronomy**, v. 2023, p. 1–11, 2023.

MERLO, P. M. S. **Conilon capixaba: 100 anos de desafios, crescimento e evolução**. Vitória, ES: Bumerangue Produção de Comunicação. 100 p. 2012.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Agenda 21 Brasileira – Agricultura sustentável – Produto 3** / Versão final. Museu Emílio Goeldi / USP-PROCAM / ATECH. 1999. Disponível em: <www.fea.unicamp.br/docentes/ortega/curso/docfinal.rtf>. Acesso em: Out. 2024.

MORAES, R. M.; ANGELUCCI, E.; SHIROSE, I.; MEDINA, J. C. Determinação de sólidos solúveis em cafés arábica e canephora. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos (Brasil)**. v.5, p.199-221. 1973.

MUELLER, C. C.; ALVES, E.; SILVA, J. E.; CUNHA, A. S. Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados. Brasília, IPEA, 204p. 1994.

MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of salinity tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.651-681. 2008.

NAGAY, J. H. C. **Café no Brasil: dois séculos de história Formação Econômica**, Campinas, (3): 17-23, 1999.

OIC- Organização Internacional de Café. **Estatísticas de comércio**, 2018. Disponível <http://www.ico.org/pt/new_historical_p.asp?section=Estat%EDstica>. Acesso em: Nov. 2024.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; LIMA, J. E. F. W. **Impacto da agricultura sobre os recursos hídricos na região do cerrado**. Planaltina – DF, Embrapa Cerrados, 50 p. 2002.

OLIVEIRA, V. J. S.; SAMPAIO, A. H. R.; FILHO, M. A. C.; OLIVEIRA, E. J.; DANTAS, J. L. L.; DANTAS, A. C. V. L. **Avaliação de condutância estomática e temperatura foliar em variedades de mamão submetidas a déficit hídrico**. Tese de doutorado em UFRB. 2004.

PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. **Fisiologia e Produção Vegetal**. 1. Ed. Lavras: Editora UFLA, 104 p. 2006.

PARTELLI, F. L. **Aspectos microbiológicos, nutricionais, fisiológicos e bioquímicos em cafeeiro**. 227f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Agronomia/Produção vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro. 2008.

PARTELLI, F. L.; CAMPANHARO, A. **Café Conilon: Desafios e Oportunidades**. Alegre-ES: UFES, 167 p. 2020.

PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B.; PAULINI, J. B.; BRAGANÇA, J. B. **Cultivo do café Conilon**. Rio de Janeiro, RJ: IBC; GERCA, 32p. (IBC/GERCA. Instruções técnicas sobre a cultura de café no Brasil, 16). 1984.

PELAEZ, C. M. **Essays on coffee and economic development**. 1973.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R.; FONTES, E. P.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant science**, v. 167, n. 6, p. 1307-1314, 2004.

PINHEIRO, H. A.; DaMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v.96, p.101-108, 2005.

PINO, F. A.; VEGRO, C. L. **Café: um guia do apreciador**. São Paulo: Saraiva. 2006.

PRAXEDES, S. C. **Efeito do déficit hídrico no metabolismo fotossintético de clones de *Coffea canephora* cv. Conilon com tolerância diferencial a seca**. 41p. Dissertação (mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **As Principais Fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (Ed.). **Cerrado: ecologia e flora v.2**. Brasília: EMBRAPA-CERRADOS. 876 p. 2008.

RIBEIRO, W. R. **Fertirrigação do cafeeiro Conilon: produtividade e atributos químicos do solo**. 2023. 122 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, ES, 2023.

RODRIGUES, W. N.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; MIRANDA, F. D. Estimativa de parâmetros genéticos de grupos de clones de café conilon. **Coffe Science**, v.7, n.2, p.177-186, 2012.

RONCHI, C. P.; DAMATTA, F. M. **Aspectos fisiológicos do café conilon**. In: Ferrão, R.G., Fonseca, A.F.A., Bragança, S.M., Ferrão, M.A.G., Muner, L.H. (eds.). **Café Conilon**. Vitória, Seag/Incaper. p. 95 – 115. 2007.

SALA, P. I. A. L.; AMABILE, R. F.; VEIGA, A. D.; MALAQUIAS, J. V.; FAGIOLI, MARCELO.; BRIGE, F. A. A. Response of Conilon coffee cultivars in the central cerrado in irrigated management (pivot sprinkler). **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, v.16, n.8, p.8408–8422, 2023.

SANO, S.M.; ALMEIDA, S. P.; RIBEIRO, J. F. Cerrado: ambiente e flora. *Embrapa Cerrados*, Planaltina, DF: Embrapa, 416 p. 2008.

SANO, E. E.; FERREIRA, L. G. Monitoramento semidetalhado (escala 1:250.000) de ocupação de solos do cerrado: considerações e proposta metodológica. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, INPE, 16-21, p. 3309-3316. 2005.

SANTIN, M. R. **Caracterização agrônômica de acessos de café Conilon irrigado no Cerrado do Planalto Central**. 2016. 136 f. Tese (Doutorado Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2016.

SANTOS, M. de O.; BRANDÃO, I. R.; CARVALHO, M. A. de F.; RODRIGUES, G. C.; VEIGA, A. D.; MARRACCINI, P.; BARTHOLO, G. F. Potencial hídrico e condutância estomática de *Coffea canephora* em condições de Cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 10, 2019, Vitória, ES. **Pesquisa, inovação e sustentabilidade dos cafés do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Café, 2019.

SAWYER, D. **População, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no cerrado**. In: HOGAN, D. J.; CARMO, R. L.; CUNHA, J. M. P.; BAENINGER, R. (org.). Migração e ambiente no Centro-Oeste. Campinas, NEPO/UNICAMP: PRONEX, p. 279-299. 2002.

SETTE, D. M. Os Climas do Cerrado do Centro-Oeste. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p.29-42. 2005.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARAES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. D. F.; FERRAO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E. Physiological response of Conilon coffee clone sensitive to drought grafted onto tolerant rootstock. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, p.457–464, 2010.

SOARES, L. V.; MELO, R., OLIVEIRA, W. S.; SOUZA, P. M.; SCHMIELE, M. **Brazilian Cerrado fruits and their potential use in bakery products**. In H. Lewis (Ed.), *Bread: Consumption, cultural significance and health effects*, v.5, p.125-160, 2017.

SOUSA, D. M. G.; DE MIRANDA, L. N.; LOBATO, E.; DE CASTRO, L. H. R. Métodos para determinar as necessidades de calagem em solos dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.13, n.2, p.193-198. 1989.

SOUZA, F. D. F.; SANTOS, J. C. F.; COSTA, J. N. M.; SANTOS, M. M. D. Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia. Porto Velho: Embrapa Rondônia; Centro de Pesquisa Agroflorestal de Rondônia, 2004. Documentos Embrapa Rondônia, n. 93, 21 p. 2004.

SOUZA, J. Supressão da irrigação no café Conilon. **Agrarian Academy**, v.3, n.6, p.1–9, 2016.

SOUZA, J. M.; REIS, E. F.; BONOMO, R.; GARCIA, G. O. Wet bulb and Conilon coffee root distribution under drip irrigation. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.42, n.1, p.93 103, 2018.

TAGLIALEGNA, G. H. F. **Estudo sobre o comportamento do mercado internacional de café nos últimos 50 anos: 1946–1995**. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz. 1996.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. 6. Artmed Editora. 2021.

TARDIEU, F.; SIMONNEAU, T.; MULLER, B. The physiological basis of drought tolerance in plants. **Annual Review of Plant Biology**, v.69, p.1-17. 2018.

TERRACLASS. 2020. **Classes mapeadas pelo projeto TerraClass na região do Cerrado em 2022**. Disponível em: <https://www.terraclass.gov.br/> Acesso em: Nov. 2024.

THIOUNE, E. H.; STRICKLER, S.; GALLAGHER, T.; CHARPAGNE, A.; DECOMBES, P.; OSBORNE, B.; MCCARTHY, J. Temperature impacts the response of *Coffea canephora* to decreasing soil water availability. **Tropical Plant Biology**, v.13, n.3, p.236-250, 2020.

VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F.; BARTHOLO, G. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; AMABILE, R. F.; CELESTINO, S. M. C. Recomendações técnicas para o cultivo irrigado do café canéfora no Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2021. 42 p. (Boletim Técnico, 48).

VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F.; BARTHOLO, G. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; AMABILE, R. F. Desempenho agrônômico de cultivares de café conilon com diferentes épocas de maturação dos frutos no Cerrado Central. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. 2020.

VIEIRA, L. G. E.; ANDRADE, A. C.; COLOMBO, C. A.; MORAES, A. H. D. A.; METHA, Â.; OLIVEIRA, A. C. D.; PEREIRA, G. A. G. Brazilian coffee genome project: an EST-based genomic resource. **Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.95-108, 2006.

VIEIRA, E. L.; DE SOUZA, G. S.; DOS SANTOS, A. R.; DOS SANTOS SILVA, J. **Manual de fisiologia vegetal**. Edufma. 2010.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H. Plant responses to drought and rewatering. **Plant signaling & behavior**, v.5, n.6, p.649-654, 2010.

WEATHERLEY, P. E. Studies in the water relations of the cotton plant: The field measurement of water deficits in leaves. **New Phytologist**, v.49, n.1, p.81-97. 1950.

ZEIGER, E. Stomatal responses to light and water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, v.34, n.1, p.31-46. 1983.

ZHU, J. K. Abiotic stress signaling and responses in plants. **Cell**, v.67, n.2, p.313-324. 2016.

CAPÍTULO I

ANÁLISE DOS COMPONENTES MORFOAGRONÔMICOS DE CLONES DE CAFÉ CONILON SOB IRRIGAÇÃO NO CERRADO DO PLANALTO CENTRAL DO BRASIL

ANALYSIS OF THE MORPHOAGRONOMIC COMPONENTS OF CONILON COFFEE CLONES UNDER IRRIGATION IN THE CERRADO OF THE CENTRAL PLATEAU OF BRAZIL

ANÁLISE DOS COMPONENTES MORFOAGRONÔMICOS DE CLONES DE CAFÉ CONILON SOB IRRIGAÇÃO NO CERRADO DO PLANALTO CENTRAL DO BRASIL

RESUMO

O café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) tem ampliado sua área de cultivo no Brasil, impulsionado por avanços tecnológicos e demanda por materiais mais produtivos e adaptados. É tradicionalmente cultivado em regiões quentes e úmidas, entretanto, vem expandindo sua área para novas fronteiras agrícolas, como é o caso do Cerrado do Planalto Central irrigado. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo caracterizar morfoagronomicamente clones de café Conilon cultivados sob irrigação no Cerrado do Planalto Central do Brasil. O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, sob irrigação por pivô central com manejo de suspensão hídrica na época da seca. Foram avaliados quatro clones da cultivar clonal Marilândia ES 8143, sendo eles: 401, 405, 407 e 412. As características analisadas incluíram altura de plantas, projeção da copa, número de ramos plagiotrópicos (avaliados nos anos de 2023 e 2024), produtividade de grãos e classificação física (avaliadas em 2024). Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação de médias pelo teste de Tukey a 5%. Quando as pressuposições de normalidade e homogeneidade de variâncias não foram atendidas, aplicou-se o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis. Os resultados revelaram variabilidade significativa entre os clones. O clone 405 apresentou as maiores médias para os caracteres vegetativos, seguido pelos clones 401 e 412. No entanto, em relação à produtividade, o clone 405 obteve o menor desempenho. Os clones 401 e 412 destacaram-se por combinar bom desenvolvimento vegetativo com alta produtividade. A classificação física dos grãos não diferiu estatisticamente entre os clones com predominância de grãos tipo moca. A caracterização agrônômica evidenciou a influência das condições ambientais entre os anos, sobretudo nas variáveis vegetativas. Os resultados reforçam o potencial dos clones 401 e 412 para uso em programas de melhoramento genético e com recomendação para cultivo irrigado no Cerrado, dada sua adaptabilidade e bom desempenho produtivo.

Palavras-chave: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, caracterização agrônômica, produtividade, melhoramento genético.

ANALYSIS OF THE MORPHOAGRONOMIC COMPONENTS OF CONILON COFFEE CLONES UNDER IRRIGATION IN THE CERRADO OF THE CENTRAL PLATEAU OF BRAZIL

ABSTRACT

Conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) has expanded its cultivation area in Brazil, driven by technological advances and demand for more productive and adapted materials. It is traditionally grown in hot and humid regions, but has been expanding its area to new agricultural frontiers, such as the irrigated Cerrado of the Central Plateau. In this context, the present study aimed to characterize morphoagronomically Conilon coffee clones grown under irrigation in the Cerrado of the Central Plateau of Brazil. The experiment was conducted at the Embrapa Cerrados experimental field in Planaltina-DF, under center pivot irrigation with water suspension management during the dry season. Four clones of the Marilândia ES 8143 clonal cultivar were evaluated, namely: 401, 405, 407, and 412. The characteristics analyzed included plant height, canopy projection, number of plagiotropic branches (evaluated in 2023 and 2024), grain yield, and physical classification (evaluated in 2024). The data were submitted to analysis of variance and comparison of means using Tukey's test at 5%. When the assumptions of normality and homogeneity of variances were not met, the nonparametric Kruskal-Wallis test was applied. The results revealed significant variability among clones. Clone 405 had the highest means for vegetative traits, followed by clones 401 and 412. However, in terms of productivity, clone 405 had the lowest performance. Clones 401 and 412 stood out for combining good vegetative development with high productivity. The physical classification of the grains did not differ statistically between clones, with a predominance of moca-type grains. Agronomic characterization showed the influence of environmental conditions between years, especially in vegetative variables. The results reinforce the potential of clones 401 and 412 for use in genetic improvement programs and with a recommendation for irrigated cultivation in the Cerrado, given their adaptability and good productive performance.

Key words: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, agronomic characterization, productivity, genetic improvement.

1. INTRODUÇÃO

O café é uma das culturas agrícolas mais importantes do mundo, tanto pelo seu valor econômico quanto pela sua relevância social. O Brasil se destaca como o maior produtor e exportador mundial da *commodity*, desempenhando papel estratégico no abastecimento global. Dentre as espécies cultivadas comercialmente, o café canefóra, popularmente conhecido como café Conilon – apesar de apresentar outras variedades genéticas – tem demonstrado crescente importância, especialmente em razão de sua maior rusticidade, produtividade e tolerância a condições edafoclimáticas adversas (Ferrão et al., 2019; CONAB, 2024).

Tradicionalmente cultivado nas regiões Norte e Nordeste do Espírito Santo, Rondônia e Centro-Sul e Sul Baiano, o café Conilon vem expandindo sua área de cultivo para novas fronteiras agrícolas, como o Cerrado do Planalto Central do Brasil. Essa região possui características edafoclimáticas desafiadoras, como elevada amplitude térmica, déficit hídrico sazonal e solos de baixa fertilidade natural, que podem limitar o desenvolvimento e a produtividade da cultura. No entanto, com a adoção de práticas como a irrigação e o uso de cultivares adaptadas, essas limitações podem ser mitigadas, tornando a região promissora para a cafeicultura irrigada (Ribeiro et al., 2021).

Para a expansão do cultivo do conilon para o Cerrado, a Embrapa Cerrados tem gerado informações agronômicas consistentes sobre o desempenho de materiais genéticos sob essas condições específicas (Veiga et al., 2020). Entretanto, há a necessidade de informações complementares acerca da arquitetura da planta, porte, número de ramos, volume de copa, produtividade e uniformidade de maturação, que são fundamentais para subsidiar programas de melhoramento e sistemas de manejo mais eficientes. Nesse contexto, a avaliação de clones previamente desenvolvidos e testados em outras regiões se faz necessária para verificar sua adaptabilidade e estabilidade produtiva no novo ambiente (Partelli et al., 2014).

Além disso, é essencial que os estudos considerem o manejo da irrigação, uma vez que a disponibilidade hídrica é um fator decisivo para o desempenho da cultura no Cerrado. A irrigação, quando bem manejada, pode proporcionar maior eficiência no uso da água, redução dos impactos do estresse hídrico e incremento na produtividade (Veiga et al., 2020). Ressalta-se, ainda, a importância da suspensão da irrigação como prática para indução e sincronização da florada, amplamente adotada na cafeicultura do Cerrado. Essa estratégia permite maior uniformidade no florescimento e na maturação dos frutos, favorecendo o planejamento da colheita e a padronização da qualidade do café produzido.

Neste trabalho, objetivou-se caracterizar morfoagronomicamente clones de café Conilon sob irrigação no Cerrado do Planalto Central do Brasil, visando identificar materiais com melhor desempenho para fins de manejo, seleção e potencial uso em programas de melhoramento genético.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no campo experimental da Embrapa Cerrados utilizando a cultivar clonal de café canéfora conilon Marilândia ES 8143, com 12 clones distintos (Ferrão et al., 2018), lançada pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER-ES) no ano de 2017.

Os clones estão implantados no campo experimental da Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina – DF, com coordenadas geográficas, Latitude: 15° 35' 30" S; Longitude: 47° 42' 30" W, altitude de 1.050 m, em Latossolo Vermelho Escuro e textura argilosa com a seguinte composição granulométrica: argila 500 g kg⁻¹, areia 400 g kg⁻¹, silte 100 g kg⁻¹. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical chuvoso de inverno seco, com média anual de precipitação de 1.200 mm e temperatura média do ar de 22 °C.

O experimento foi instalado em fevereiro de 2019, com espaçamento de 3,60 m entre linhas e 0,5 m entre plantas, sob irrigação via pivô Central. As plantas foram conduzidas com dois ramos ortotrópicos. Nas entrelinhas do plantio foi cultivado a gramínea *Urochloa decumbens* em forma de manejo.

Aplicou-se o Sistema de Monitoramento de Irrigação no Cerrado, proposto por Rocha et al. (2006), fornecendo a lâmina líquida necessária para a área, com manejo de suspensão da irrigação durante a estação seca, para sincronização do desenvolvimento floral e aumento da produtividade e qualidade do café.

O delineamento experimental utilizado foi o Blocos ao Acaso com três repetições, sendo cada parcela constituída de oito plantas. Da cultivar clonal composta de doze clones, apenas quatro foram avaliados, sendo eles: clones 401, 405, 407 e 412. A seleção desses clones específicos, se deu através do comportamento contrastante acerca de uma condição de geada, observado no ano de 2022 (Silva, 2023).

No ano de plantio (2019), foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 24,5 g de *Fritted Trace Elements* (FTE BR 12[®]) por cova, conforme os resultados da análise de solo. No primeiro ano após o plantio (2020) não foi realizada a adubação com P₂O₅, devido à aplicação realizada no

plantio. Para a adubação de cobertura com nitrogênio e potássio, foram fornecidos 200 kg ha⁻¹ de nutrientes, divididos em quatro aplicações realizadas a cada 40 dias. No segundo ano após o plantio (2021), foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, divididos em duas parcelas: dois terços em setembro e um terço em dezembro. Além disso, foram fornecidos 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio e potássio, distribuídos em quatro aplicações realizadas em setembro, novembro, janeiro e março. Os micronutrientes foram suplementados com 100 kg ha⁻¹ de FTE BR 12[®], aplicados em cobertura no mês de dezembro. Em 2022, 2023 e 2024, o mesmo protocolo de adubação foi efetivado.

Foram avaliadas, em plantas previamente marcadas, as seguintes características:

- (1) Altura de plantas (Altura): altura do ramo ortotrópico, desde a base até o ápice do caule principal, em cm;
- (2) Número de ramos plagiotrópicos (NRP): quantidade de ramos de produção presente em todas as faces da planta. A variável foi quantificada utilizando-se contagem direta a partir da análise visual da planta;
- (3) Projeção de copa (PC): comprimento do maior ramo plagiotrópico no terço médio da planta (1,0 m do solo), em cm.
- (4) Produtividade de grãos (Produtividade): foi determinado utilizando grãos colhidos nos anos de 2024. A colheita do material foi realizada de forma manual. Os frutos depois de colhidos foram imediatamente processados por via seca, em terreiro convencional, com revolvimento diário para uma secagem uniforme. A umidade dos grãos foi monitorada semanalmente com um medidor de umidade de grãos Multi-GrainTM da marca Dickey-john, permanecendo expostos no sol por volta de 14 dias, ou quando os frutos atingem 11% de umidade, sendo então recolhidos do terreiro. As amostras foram então pesadas e beneficiadas (descascadas) para se determinar a produção por planta (produtividade), a 13% de umidade.
- (5) Classificação física dos grãos (Grãos chato e moca): após a colheita os frutos foram secos em terreiro até atingirem 13% de umidade. A avaliação foi realizada após o beneficiamento do café e separação de defeitos e matérias estranhas. Os grãos beneficiados são separados e quantificados por peneiras com furos circulares e oblongos, para separação de grãos moca e chato, respectivamente. Foram separadas 100 g de cada parcela, e logo após, passadas por uma série de 14 peneiras intercaladas, para verificar o percentual de retenção de grãos chato e moca. Os grãos retidos nas peneiras 19,18,17,16,15 e 14 correspondem aos grãos chato e os grãos retidos nas peneiras 13, 12, 11, 10, 9 e 8 referem-se aos grãos moca.

As variáveis vegetativas, ou seja, altura de plantas, número de ramos plagiotrópicos e projeção de copa, foram avaliadas nos anos de 2023 e 2024. Por sua vez, as variáveis de produção, como a produtividade de grãos e a classificação física de grãos, foram avaliadas apenas em 2024, uma vez que o café no ano de 2023 apresentou bienalidade negativa resultando em baixa produção.

Foi realizada análise de variância com medidas repetidas ao longo do tempo, sendo considerado como fonte de variação os clones e os anos (Tabela 1). Os clones foram considerados como parcela e os anos como subparcela. Na natureza do modelo os clones 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:

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

onde:

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

μ = média geral;

B_j = efeito do j-ésimo bloco (j = 1, 2, ..., b);

G_i = efeito do i-ésimo genótipo (i = 1, 2, ..., g);

ε_{ij} = erro aleatório a;

A_k = efeito do k-ésimo ano (k = 1, 2, ..., a);

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

δ_{ijk} = erro aleatório b.

Tabela 1. Esquema da análise de variância com medidas repetidas ao longo do tempo de um modelo de delineamento em blocos 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
Blocos	$r - 1$	QMB	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2 + ga\sigma_b^2$	

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	$(r-1)(g-1)$	QME _a	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2$	
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	$(g-1)(r-1)$	QME _b	$\sigma_{\varepsilon b}^2$	
Total	$gar - 1$			

Os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram verificados respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene (Shapiro; Wilk, 1965). Atendidas as pressuposições, as médias foram comparadas a partir do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Os dados que não atenderem os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram submetidos a análise univariada não paramétrica de Kruskal-Wallis (Kruskal; Wallis, 1952).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R versão 4.3.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância conjunta dos anos de 2023 e 2024 para as variáveis Altura, PC e NRP está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta em esquema de parcelas subdivididas no tempo de altura de plantas (Altura), projeção de copa (PC), e número de ramos plagiotrópicos (NRP) avaliados nos anos de 2023 e 2024 em clones de café conilon em sistema irrigado no Cerrado. Planaltina, Distrito Federal.

FV	GL	QM		
		Altura	PC	NRL
Clone	3	3.963,5 ^{n.s.}	1.892,3 ^{**}	105,77 ^{n.s.}
Bloco	2	1.323 ^{n.s.}	53,2 ^{n.s.}	324,94 ^{n.s.}
Erro a	1	86,2	94	147,78
Ano	1	25.536 ^{***}	6.538,8 ^{***}	384,53 ^{***}

Clone x Ano	3	261**	142,3*	95,32*
Erro b	55	55,1	35,5	24,99
Total	65			
CV (%) clones		3,78%	9,64%	22,49%
CV (%) ano		3,02%	5,92%	9,25%

n.s. Não significativo a 5% de probabilidade. ***, ** e * Significativo a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. FV, fonte de variação. GL, graus de liberdade. QM, quadrado médio. CV, coeficiente de variação.

Observou-se diferença significativa entre os clones apenas para a característica projeção de copa (PC), ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$), indicando baixa variabilidade genética para Altura e NRP. Ou seja, clones avaliados mostraram diferenças em relação ao vigor horizontal das plantas, o que pode refletir diretamente na interceptação de luz, no sombreamento entre plantas e no manejo da lavoura. De acordo com Partelli et al. (2014), características como o porte e a expansão da copa estão diretamente relacionadas à arquitetura da planta e ao seu potencial produtivo, influenciando também a densidade de plantio e a eficiência na colheita.

Para a fonte de variação ano, houve efeito significativo ($p \leq 0,001$) para todas as características analisadas. Essa diferença entre os anos pode ser atribuída às condições ambientais distintas e aos efeitos do desenvolvimento natural das plantas ao longo do tempo. Como o cultivo foi realizado em condições de campo, é comum que fatores ambientais como precipitação, temperatura do ar e disponibilidade hídrica variem entre os anos agrícolas, influenciando diretamente o crescimento vegetativo (Taiz et al., 2021).

Em relação à interação Clone $\times$ Ano, constatou-se significância estatística para todas as variáveis analisadas, sendo Altura significativa ao nível de 1% de probabilidade ($p \leq 0,01$), e PC e NRP ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Essa interação indica que o desempenho dos genótipos não foi estável entre os dois anos de avaliação, ou seja, a resposta dos clones variou em função das condições ambientais de cada ano. Tal comportamento ressalta a importância da análise em múltiplos anos e sob diferentes condições ambientais para a seleção de genótipos mais adaptáveis e estáveis (Cruz et al., 2012).

Os coeficientes de variação (CV) apresentados para os experimentos com clones e anos, foram em sua maioria baixos, indicando boa precisão experimental e baixa variabilidade residual, a saber: 3,78% para Altura, 9,64% para PC e 22,49% para NRP, bem como, para os anos, valores de 3,02% para Altura, 5,92% para PC e 9,25% para NRP. Para a variável NRP, o CV (clone) foi de 22,49%, valor que, embora ligeiramente superior ao limite de 20%, ainda

pode ser considerado aceitável, especialmente por se tratar de uma característica de difícil mensuração e com maior variabilidade natural entre plantas (Borém; Miranda, 2013).

Em experimentos de campo com café, valores de CV próximos ou até ligeiramente superiores a 20% são comuns e não comprometem, por si só, a confiabilidade dos resultados, desde que acompanhados de efeitos significativos e coerentes (Ferrão et al., 2008).

A Tabela 2 mostra as médias para as variáveis altura de planta (Altura), projeção de copa (PC) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) dos quatro clones avaliados, nos anos de 2023 e 2024, com base no teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foi possível observar crescimento expressivo entre os anos para todas as variáveis analisadas, refletindo o avanço vegetativo natural das plantas entre os ciclos.

Tabela 2. Médias de altura de planta (Altura), projeção de copa (PC) e número de ramos plagiotrópicos (NRP) avaliados em 4 clones de café conilon cultivados em sistema irrigado no Cerrado, em dois anos consecutivos, 2023 e 2024. Planaltina, Distrito Federal.

CLONES	Altura (cm)				PC (cm)				NRL			
	2023		2024		2023		2024		2023		2024	
401	232,22	Aa	265,25	Ab	102,67	Aa	119,00	Aa	50,22	Aa	59,25	Aa
405	239,22	Ba	288,33	Aa	95,00	Ba	122,44	Aa	51,78	Ba	60,44	Aa
407	211,33	Bb	244,00	Ac	81,22	Ba	98,67	Aa	51,11	Aa	50,00	Aa
412	225,56	Bab	262,00	Abc	86,56	Ba	101,33	Aa	53,56	Aa	56,67	Aa

Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma coluna diferem estatisticamente entre os clones, e médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre os anos, conforme o teste de Tukey a 5% de probabilidade (p < 0,05).

Para a característica Altura, todos os clones detiveram aumento significativo entre os anos, com exceção do clone 401, que não se diferenciou estatisticamente nos dois anos. Em 2023, o clone 405 obteve a maior média (239,22 cm), seguido de 401 e 412, enquanto o clone 407 expôs a menor estatura (211,33 cm). Em 2024, a maior média também foi verificada no clone 405 (288,33 cm), que se manteve estatisticamente superior aos demais. O clone 407 permaneceu como o clone de menor porte (244,00 cm).

O aumento notado na altura das plantas entre os anos avaliados está associado ao crescimento vegetativo contínuo do cafeeiro, mesmo após superada a fase inicial de formação da lavoura. Embora Covre et al. (2015) destaquem que o crescimento em altura do café Conilon tende a ser mais vigoroso nos primeiros anos, especialmente sob condições adequadas de irrigação e fertilidade - características presentes na região do Cerrado, é importante considerar que o desenvolvimento em altura pode se manter estável ou até intensificar-se em

plantas adultas, a depender do genótipo e do manejo adotado. Contudo, valores excessivos de altura são indesejáveis, pois dificultam práticas culturais e a colheita, exigindo maior intensidade no manejo (Ferrão et al., 2017).

No contexto da cafeicultura irrigada no Cerrado, há preferência por genótipos de porte reduzido e alto potencial produtivo, especialmente devido à predominância de sistemas de irrigação por pivô central, os quais impõem restrições à altura das plantas. Essa característica arquitetônica favorece não apenas o manejo fitotécnico e fitossanitário, mas também facilita as operações de colheita e mecanização da lavoura (Ferrão et al., 2017; Verdin Filho et al., 2014). Assim, clones como o 405, apesar do bom desempenho vegetativo, podem exigir manejo mais rigoroso de podas para controle da arquitetura e manutenção da produtividade.

A projeção de copa também externou aumento de um ano para outro em quase todos os clones, com exceção do clone 401 que não apresentou diferença estatística de 2023 para 2024. Mesmo os clones não detendo diferença estatística entre si em cada ano, em 2024 os clones 405 e 401 revelaram maiores médias, com 122,44 cm e 119,00 cm respectivamente. O clone 407 possuiu os menores valores nos dois anos, 81,22 cm em 2023 e 98,67 cm em 2024, ficando abaixo dos demais.

O crescimento na PC é altamente desejável, pois representa uma maior área foliar disponível para interceptação de luz e, conseqüentemente, maior capacidade fotossintética e produtiva (Cunha; Volpe, 2010). Essa característica é fundamental para garantir altas produtividades em ambientes com boa oferta hídrica e solar, como os encontrados no Cerrado sob irrigação.

Contudo, assim como na altura, é necessário equilíbrio, pois copas muito expansivas podem causar sombreamento mútuo em plantios adensados afetando negativamente a fotossíntese nas folhas inferiores, reduzindo o acúmulo de matéria seca e limitando o potencial produtivo (Araújo et al., 2007).

Em relação a variável NRP, não houve diferença estatística entre os clones nos anos de 2023 e 2024. Já em relação aos anos, o clone 405 foi o único que denotou diferença estatística significativa, o que pode indicar que a emissão de novos ramos laterais se estabilizou neste intervalo de tempo para os clones 401, 407 e 412.

O clone 405 foi o que trouxe os maiores valores nos dois anos, em 2023 com uma média de 51,78 ramos e em 2024 com uma média de 60,44 ramos. É possível observar uma relação entre Altura e NRP, visto que quanto maior a planta for em estatura, maior o número de ramos plagiotrópicos a planta apresentará. Esse fato foi averiguado no clone 405 que se

destacou em crescimento horizontal e conseqüentemente foi o que expressou maior quantitativo de ramos plagiotrópicos.

Os ramos plagiotrópicos são estruturas fundamentais na produção do café Conilon, pois neles se formam as gemas reprodutivas. Segundo Verdin Filho et al. (2014), um maior número de ramos pode estar diretamente ligado ao potencial produtivo da planta, desde que esses ramos estejam bem desenvolvidos e distribuídos. O desempenho do clone 405 neste aspecto é um indicativo do seu vigor vegetativo superior, embora o controle por podas seja essencial para evitar excesso de crescimento vegetativo em detrimento da produção.

Devido à ausência de normalidade e homogeneidade dos resíduos nos dados de produtividade de grãos e classificação física dos grãos (grãos chato e grãos moca), as variáveis foram submetidas à análise univariada não paramétrica pelo teste de Kruskal-Wallis, a 5% de probabilidade. Os resultados médios e os respectivos rankings encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3. Análise não paramétrica de Kruskal-Wallis de clones de café conilon para as variáveis morfoagronômicas produtividade de grãos (produtividade) e classificação física dos grãos (grãos chato e grãos moca) no ano safra de 2024. Planaltina, Distrito Federal, 2024.

CLONES	Produtividade (kg ha ⁻¹)			Grãos Chato (%)			Grãos Moca (%)		
	MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK		MÉDIA	RANK	
401	4.520,33	8,67	A	22,83	6,67	a	65,10	4,33	a
405	2.814,33	2,67	B	21,50	5,00	a	73,13	10,00	a
407	3.968,67	6,33	Ab	26,10	6,00	a	67,80	7,33	a
412	4.781,67	8,33	Ab	39,03	8,33	a	53,10	4,33	a

Médias seguidas de letras diferentes na mesma coluna indicam significância estatística entre os clones pelo teste não paramétrico de Kruskal-Wallis a 5% de probabilidade.

Para a produtividade dos grãos, foi observada diferença significativa entre os clones. O clone 401 apresentou uma das maiores produtividades (4520,33 kg ha⁻¹), estatisticamente superior ao clone 405 (2814,33 kg ha⁻¹). Os clones 407 (3968,67 kg ha⁻¹) e 412 (4781,67 kg ha⁻¹) não diferiram estatisticamente de nenhum dos demais, situando-se em uma faixa intermediária. Esses resultados destacam o potencial produtivo dos clones 401 e 412, mesmo considerando a variabilidade natural do sistema.

O bom desempenho do clone 401 é coerente com seu vigor vegetativo observado nas variáveis altura de planta e projeção de copa, o que pode indicar uma arquitetura eficiente para interceptação de luz e suporte à carga produtiva. Segundo Partelli et al. (2014), a produtividade em canéfora está intimamente relacionado à capacidade da planta em produzir e sustentar

estruturas reprodutivas, o que depende do equilíbrio entre crescimento vegetativo e reprodutivo, especialmente em sistemas irrigados como o Cerrado.

Silva et al. (2025) avaliaram os caracteres agronômicos de diferentes clones da cultivar clonal Marilândia ES 8143, em sistema irrigado, nos anos de 2021 e 2022. Os autores verificaram que, em ambas as safras, o clone 405 apresentou desempenho de destaque: no primeiro ano (2021), ficou apenas abaixo do clone 404, enquanto no segundo ano (2022) superou todos os demais, inclusive apresentando média superior à obtida pelo clone 5 no INCAPER (2017). Contudo, tais resultados contrastam com os do presente estudo, no qual o clone 405 apresentou a menor produtividade entre os avaliados. Essa divergência pode estar relacionada às variações nas condições ambientais entre os anos agrícolas, especialmente quanto à distribuição das chuvas, temperatura média e radiação solar. Oscilações nesses fatores afetam diretamente processos fisiológicos como o enchimento dos frutos e a fotossíntese, podendo alterar de forma significativa o desempenho produtivo de cada clone em diferentes safras, mesmo sob manejo semelhante.

Em relação à classificação física dos grãos, não foram observadas diferenças significativas entre os clones, tanto para a porcentagem de grãos chato quanto de grãos moca. Os valores médios de grãos chato variaram de 21,50% (clone 405) a 39,03% (clone 412), enquanto os grãos moca oscilaram de 53,10% (clone 412) a 73,13% (clone 405). Apesar da ausência de diferença estatística, é importante destacar que o clone 405 manifestou a maior proporção de grãos moca, o que pode ser relevante dependendo do mercado consumidor, já que esse tipo de grão possui valor comercial específico em alguns nichos.

No processo de melhoramento genético que resultou na cultivar Marilândia ES 8143, Ferrão et al. (2018) constataram um percentual de grãos do tipo moca de 22,40%, valor inferior ao obtido no presente estudo.

A predominância de grãos moca em todos os clones é uma característica comum em clones de Conilon, especialmente quando cultivados em ambientes de alta temperatura e sob irrigação, condições que favorecem o desenvolvimento uniforme dos frutos e, por consequência, a formação de sementes únicas por fruto (Ferrão et al., 2017). Ainda assim, a proporção entre os tipos de grãos pode ser influenciada por fatores genéticos e ambientais, incluindo adubação, disponibilidade hídrica e microclima da lavoura.

Considerando o desempenho geral dos clones ao longo dos dois anos de avaliação, é possível identificar diferenciações importantes quanto ao crescimento vegetativo, arquitetura da planta e potencial produtivo.

O clone 405 destacou-se nas variáveis vegetativas, como altura de planta, projeção de copa e número de ramos laterais, evidenciando elevado vigor. No entanto, esse crescimento não se traduziu em maior produtividade de grãos, apresentando a menor produtividade em 2024 (2.814,33 kg ha⁻¹) e a maior proporção de grãos tipo moca (73,13%), sem vantagem estatística na classificação física.

O clone 401 exibiu bom equilíbrio entre vigor e produção, com crescimento vegetativo moderado e elevada produtividade (4.520,33 kg ha⁻¹), estatisticamente superior ao clone 405. Também mostrou proporção adequada de grãos moca (65,10%) e desempenho morfológico consistente, sendo um material promissor para cultivos irrigados.

O clone 412 obteve a maior produtividade média (4.781,67 kg ha⁻¹), embora sem diferença estatística em relação ao 401. Vegetativamente, manifestou crescimento satisfatório e bom número de ramos laterais. O clone 407, por sua vez, mesmo com menor porte vegetativo, alcançou produtividade intermediária, sugerindo boa eficiência produtiva em plantas de arquitetura mais baixa, o que pode ser interessante para sistemas de manejo intensivo.

Assim, os clones 401 e 412 destacaram-se pelo melhor desempenho agrônomo geral, associando alta produtividade a característica vegetativa equilibrada, podendo ser indicados como materiais promissores para programas de melhoramento de café Conilon irrigado no Cerrado.

4. CONCLUSÕES

A caracterização agrônoma dos clones de café Conilon sob irrigação no Cerrado permitiu identificar variabilidade significativa entre os materiais genéticos avaliados. As diferenças entre anos evidenciaram a influência das condições ambientais, especialmente sobre características vegetativas como altura de planta, projeção de copa e número de ramos plagiotrópicos.

Os materiais 401 e 412 destacaram-se por combinar elevada produtividade e bom desenvolvimento vegetativo, evidenciando maior adaptação às condições locais. O clone 405, embora vigoroso em termos de crescimento, apresentou baixa produtividade, indicando baixa eficiência na conversão vegetativa em produtividade.

Os resultados reforçam o potencial de uso dos clones 401 e 412 em programas de melhoramento e recomendações para sistemas irrigados no Cerrado, enquanto os demais materiais exigem estratégias específicas de manejo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, W. L.; DIAS, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; CELIN, E. F.; CUNHA, R. L.; CHAVES, A. R. M.; CATEN, Â. T.; BATISTA, K. D.; POMPELLI, M. F.; CARRETERO, D. M.; DA MATTA, F. M. Limitações da fotossíntese em folhas de diferentes posições da copa do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 5, 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais**. Brasília, DF: Embrapa Café, p. 1–6. 2007.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa n.º 8, de 11 de junho de 2003. Aprova o Regulamento Técnico de Identidade e de Qualidade para a classificação do café beneficiado grão cru**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 jun. 2003.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 6ed. Viçosa: Editora UFV, 523p. 2013.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento da safra de café 2024: produção estimada em 58,08 milhões de sacas — safra 2024**. Brasília, DF: CONAB, 2024.

COVRE, A.M.; PARTELLI, F.L.; MAURI, A.L.; DIAS, M.A. Crescimento e desenvolvimento inicial de genótipos de café conilon. **Revista Agro@mbiente On-line**, v.7, p.193-202, 2015.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.

CUNHA, A. R.; VOLPE, C. A. Relações radiométricas no terço superior da copa de cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 263–271. 2010.

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**, 43, 61–69, 2008.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência e Extensão Rural (INCAPER). Vitória, ES. 384p. 2017.

FERRÃO, M. A. G.; FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, S. P.; MUNER, L. H. Café Conilon. In: FERRÃO, M. A. G. et al. (org.). **Café Conilon – Técnicas de produção com variedades melhoradas**. Vitória: Incaper, p. 15–62, 2017.

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H. **Conilon Coffee**. Vitória, ES: Incaper, 2019.

FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C.; FONSECA, A. F. A. DA; FERRÃO, L. M. V.; FERRÃO, L. F. V. Melhoramento genético para obtenção da Cultivar Marilândia es 8143, variedade clonal de café conilon tolerante a seca. **Multi-Science Research**, v.1, n.1, 2018.

KRUSKAL, W. H.; WALLIS, W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis. **Journal of the American Statistical Association**, v.47, n.260, p.583–621, 1952

PARTELLI, F. L.; ARAÚJO, A. V.; VIEIRA, H. D.; DIAS, J. R. M.; MENEZES, L. F. T. de; RAMALHO, J. C. Microclima e desenvolvimento do café ‘Conilon’ consorciado com seringueira. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.49, n.11, p.872–881, 2014.

PARTELLI, F. L.; VIEIRA, H. D.; CAMPOSTRINI, E.; OLIOOSI, G.; RAMALHO, J. C. Root system distribution and yield of ‘Conilon’ coffee propagated by seeds or cuttings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 49, p. 349–355, 2014.

RIBEIRO, W. R.; RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; GONÇALVES, M. S.; GONÇALVES, D. da C.; SALES, R. A.; MARTINS, C. A. S.; REIS, E. F. Fator crítico de disponibilidade hídrica para o crescimento inicial do cafeeiro Conilon. **Agrarian**, v.14, n.51, p.71–81, 2021.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; SILVA, F. A. M.; MACHADO JÚNIOR, J. R. R.; ARAÚJO, M. C. de; SILVA, H. C. Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, n.3/4, p.591–611, 1965.

SILVA, T. P. **Caracterização de clones de cafés conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) em sistema irrigado no Cerrado Central**. Dissertação de Mestrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 83 p.

SILVA, T. P.; VEIGA, A. D.; AMABILE, R. F.; MALAQUIAS, J.; VILELA, M. S.; CELESTINO, S. M. C.; FIALHO, A. R.; MELO, J. V. P.; SANTOS, G. B. C. Analysis of Agronomic and Genetic Components of Conilon Clones in an Irrigated Production System in the Central Cerrado. **Agronomy**, v.15, n.11, p.2491, 2025.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. 6. Artmed Editora. 2021.

VEIGA, A. D.; GUERRA, A. F.; BARTHOLO, G. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C.; AMABILE, R. F. Desempenho agronômico de cultivares de café conilon com diferentes épocas de maturação dos frutos no Cerrado Central. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2020.

VERDIN FILHO, A. C.; TOMAZ, M. A.; FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; RODRIGUES, W. N. Yield of Conilon coffee using the programmed pruning cycle and different cultivation densities. **Coffee Science**, Lavras, v.9, n.4, p.489–494, 2014.

CAPÍTULO II

**CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA DE CLONES DO CAFÉ CONILON SOB
ESTRESSE HIDRICO CONTROLADO NO CERRADO DO PLANALTO CENTRAL
DO BRASIL**

**PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CONILON COFFEE CLONES
UNDER CONTROLLED WATER STRESS IN THE CERRADO OF THE CENTRAL
PLATEAU OF BRAZIL**

CARACTERIZAÇÃO FISIOLÓGICA DE CLONES DO CAFÉ CONILON SOB ESTRESSE HÍDRICO CONTROLADO NO CERRADO DO PLANALTO CENTRAL DO BRASIL

RESUMO

O cultivo do café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) tem se expandido para o Cerrado do Planalto Central irrigado, devido a sua adaptabilidade. No entanto, essa região apresenta uma estação seca bem definida, o que torna o estresse hídrico um desafio para o desenvolvimento da cultura. A caracterização fisiológica de clones é fundamental para identificar materiais mais tolerantes e adaptados a essas condições climáticas. Este estudo teve como objetivo caracterizar fisiologicamente clones de café Conilon submetidos a estresse hídrico controlado no Cerrado do Planalto Central, visando à seleção de materiais com maior tolerância à seca. O experimento foi conduzido no campo experimental da Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, sob irrigação por pivô central. Durante o período seco, a irrigação foi suspensa para simular o estresse hídrico. Foram avaliados quatro clones da cultivar clonal Marilândia ES 8143, em delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições. As características fisiológicas foram analisadas nos anos de 2023 e 2024, sendo elas: condutância estomática, conteúdo relativo de água (CRA) e estabilidade da membrana celular (CMS). Os dados foram submetidos à análise de variância, com comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, além de análise de regressão linear. Os resultados indicaram que o estresse hídrico se manifestou de forma mais evidente entre 30 e 43 dias após o início da suspensão da irrigação. A análise de comparação de médias da condutância estomática destacou os clones 405 (2023) e 407 (2024), com melhor desempenho em relação à manutenção da abertura estomática. No entanto, a análise de regressão revelou maior estabilidade estomática frente ao estresse nos clones 401 (2023) e 412 (2024), sugerindo melhor capacidade de ajuste fisiológico à restrição hídrica. Os parâmetros CRA e CMS apresentaram resultados menos conclusivos, possivelmente devido ao número reduzido de medições e à variabilidade ambiental entre os anos. Houve variação no comportamento fisiológico entre os clones e entre os anos avaliados, refletindo a influência ambiental nos dados fisiológicos. Os clones 401 (2023) e 412 (2024) demonstraram estratégias fisiológicas potencialmente mais eficientes para tolerância à seca, sendo indicados como materiais promissores para programas de melhoramento genético voltados à adaptação ao estresse hídrico no Cerrado.

Palavras-chave: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, caracterização fisiológica, estômatos, variabilidade ambiental.

PHYSIOLOGICAL CHARACTERIZATION OF CONILON COFFEE CLONES UNDER CONTROLLED WATER STRESS IN THE CERRADO OF THE CENTRAL PLATEAU OF BRAZIL

ABSTRACT

The cultivation of Conilon coffee (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) has expanded to the irrigated Cerrado of the Central Plateau due to its adaptability. However, this region has a well-defined dry season, which makes water stress a challenge for crop development. The physiological characterization of clones is essential to identify materials that are more tolerant and adapted to these climatic conditions. This study aimed to physiologically characterize Conilon coffee clones subjected to controlled water stress in the Cerrado of the Central Plateau, with a view to selecting materials with greater drought tolerance. The experiment was conducted at the Embrapa Cerrados experimental field in Planaltina-DF, under center pivot irrigation. During the dry season, irrigation was suspended to simulate water stress. Four clones of the clonal cultivar Marilândia ES 8143 were evaluated in a randomized block design with four replicates. Physiological characteristics were analyzed in 2023 and 2024, including stomatal conductance, relative water content (RWC), and cell membrane stability (CMS). The data were submitted to analysis of variance, with comparison of means using Tukey's test at 5% probability, in addition to linear regression analysis. The results indicated that water stress manifested itself most clearly between 30 and 43 days after irrigation was suspended. The analysis comparing mean stomatal conductance values highlighted clones 405 (2023) and 407 (2024) as performing best in terms of maintaining stomatal opening. However, regression analysis revealed greater stomatal stability in response to stress in clones 401 (2023) and 412 (2024), suggesting better physiological adjustment capacity to water restriction. The CRA and CMS parameters presented less conclusive results, possibly due to the reduced number of measurements and environmental variability between years. There was variation in physiological behavior between clones and between the years evaluated, reflecting the environmental influence on physiological data. Clones 401 (2023) and 412 (2024) demonstrated potentially more efficient physiological strategies for drought tolerance, being indicated as promising materials for genetic improvement programs aimed at adaptation to water stress in the Cerrado.

Key words: *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, physiological characterization, stomata, environmental variability.

1. INTRODUÇÃO

O café é uma das culturas agrícolas de maior relevância econômica no mundo, sendo amplamente comercializados em diversos mercados e constituindo um setor estratégico importante para toda a cadeia produtiva. O Brasil, reconhecido como maior produtor e exportador mundial, tem como base de cultivo duas espécies comerciais, *Coffea arabica* L. (arábica) e *Coffea canephora* Pierre ex Froehner (sub variedade conilon), adaptadas a condições climáticas distintas (CONAB, 2024).

Embora o café conilon (*C. canephora*) ocupe a segunda posição em volume de produção no Brasil (CONAB, 2024), sua importância tem crescido significativamente nos últimos anos pela sua elevada produtividade, rusticidade, menor custo de produção e adaptabilidade a condições ambientais adversas. Além disso, essa variedade desempenha um papel estratégico na indústria, sendo matéria-prima para a composição de *blends* e na produção do café solúvel (Ferrão et al., 2017).

O café conilon é tradicionalmente cultivado em regiões de menor altitude e maior temperatura do ar, com destaque para os estados do Espírito Santo e Rondônia, que são os principais produtores nacionais. Contudo, o cultivo do conilon tem expandido para novas fronteiras agrícolas, como o Cerrado do Planalto Central Brasileiro (Fernandes et al., 2012).

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e abrange cerca de 25% do território nacional, com características edafoclimáticas singulares. Apresenta um clima tropical sazonal, ou seja, com duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca, e solos geralmente ácidos com baixa fertilidade (Oliveira; Marquis, 2002). Tais condições impõem desafios a cafeicultura na região, principalmente pela ocorrência de períodos prolongados de seca, caracterizando o déficit hídrico típico desse bioma (Ferrão et al., 2007).

O estresse hídrico é um dos principais fatores limitantes à produtividade do café no Cerrado. A escassez de água no solo compromete diversos processos fisiológicos essenciais à planta, como a absorção de nutrientes, a fotossíntese, o crescimento vegetativo e o desenvolvimento reprodutivo (DaMatta et al., 2006). Em plantas de café canéfora, a deficiência hídrica leva à redução na condutância estomática, na taxa de assimilação de CO₂ e na eficiência do uso da água, além de promover o acúmulo de espécies reativas de oxigênio (ROS), que causam danos oxidativos às células (Custódio et al., 2022; Thioune et al., 2020).

A fisiologia do café conilon é fortemente influenciada pelas condições ambientais, especialmente pela disponibilidade hídrica do solo, a radiação solar e a temperatura do ar. Sob condições de déficit hídrico, a fisiologia da espécie é marcada por respostas que envolvem

desde mecanismos morfoanatômicos, como o fechamento estomático e a redução da área foliar, até ajustes bioquímicos, como o aumento na atividade de enzimas antioxidantes e na produção de osmólitos compatíveis, como prolina e açúcares solúveis (DaMatta et al., 2007). Essas respostas variam entre clones, sendo influenciadas pela intensidade, duração e frequência do estresse, além da capacidade de recuperação da planta após o reestabelecimento da irrigação (Pinheiro et al., 2005).

Apesar dos avanços no cultivo irrigado do conilon, sobretudo no Cerrado, a realidade climática impõe a necessidade de desenvolver e selecionar clones mais tolerantes ao estresse hídrico, capazes de manter níveis satisfatórios de crescimento e produtividade mesmo sob déficit hídrico. A caracterização fisiológica de diferentes genótipos sob estresse permite identificar materiais com maior capacidade adaptativa, fornecendo subsídio para programas de melhoramento genético e práticas de manejo sustentável (Silva et al., 2010).

Neste contexto, o estudo tem como objetivo caracterizar fisiologicamente clones de café conilon submetidos a estresse hídrico controlado no Cerrado do Planalto Central, visando à seleção de materiais genéticos que apresentem maior tolerância ao estresse hídrico e melhor capacidade de recuperação da planta após a reidratação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Cerrados, localizada em Planaltina – DF, com coordenadas geográficas, Latitude: 15° 35' 30" S; e, Longitude: 47° 42' 30" W. A área apresenta uma altitude de 1.050 m, em Latossolo Vermelho Escuro e textura argilosa com a seguinte composição granulométrica: argila 500 g kg⁻¹, areia 400 g kg⁻¹, silte 100 g kg⁻¹. Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, tropical chuvoso de inverno seco, com média anual de precipitação de 1.200 mm e temperatura média do ar de 22 °C.

Para a avaliação, utilizou-se a cultivar clonal de café canéfora conilon Marilândia ES 8143, com 12 clones distintos (Ferrão et al, 2018), lançada pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER-ES) no ano de 2017. A área experimental foi instalada em fevereiro de 2019, com espaçamento de 3,60 x 0,5 m, e plantas conduzidas com dois ramos ortotrópicos. Nas entrelinhas do plantio foi cultivado a gramínea *Urochloa decumbens* em forma de manejo.

O delineamento experimental utilizado foi o Blocos ao Acaso com quatro repetições, sendo cada parcela constituída de oito plantas. Da cultivar clonal composta de doze clones,

apenas quatro foram avaliados, sendo eles: clones 401, 405, 407 e 412. Os clones avaliados foram selecionados por apresentarem comportamentos contrastantes frente a um evento de geada ocorrido em maio de 2022. Nesse episódio, os clones 405 e 412 demonstraram maior tolerância às baixas temperaturas, enquanto os clones 401 e 407 mostraram-se mais suscetíveis a essa condição adversa (Silva et al., 2025). Desta forma, as avaliações realizadas tiveram como intuito analisar e realizar as caracterizações fisiológicas desses genótipos específicos sob estresse hídrico controlado.

Foi utilizado o pivô central como sistema de irrigação. No período de estresse hídrico controlado, houve o manejo de suspensão da irrigação durante a estação de seca. No ano de 2023, o período de suspensão hídrica foi de 57 dias, já em 2024 esse período foi de 59 dias. Após o período de estresse, utilizou-se do Sistema de Monitoramento de Irrigação no Cerrado, proposto por Rocha et al. (2006) para fornecer a lâmina líquida necessária para a área, no café.

No ano de plantio (2019), foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 24,5 g de *Fritted Trace Elements* (FTE BR 12[®]) por cova, conforme os resultados da análise de solo. No primeiro ano após o plantio (2020), durante a formação das plantas, não foi realizada a adubação com P₂O₅, devido à aplicação realizada no plantio. Para a adubação de cobertura com nitrogênio e potássio, foram fornecidos 200 kg ha⁻¹ de nutrientes, divididos em quatro aplicações realizadas a cada 40 dias. No segundo ano após o plantio (2021), foram aplicados 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, divididos em duas parcelas: dois terços em setembro e um terço em dezembro. Além disso, foram fornecidos 400 kg ha⁻¹ de nitrogênio e potássio, distribuídos em quatro aplicações realizadas em setembro, novembro, janeiro e março. Os micronutrientes foram suplementados com 100 kg ha⁻¹ de FTE BR12, aplicados em cobertura, no mês de dezembro. Nos anos seguintes (2022, 2023 e 2024), o mesmo protocolo de adubação foi efetivado.

Foram avaliadas no experimento, as seguintes variáveis fisiológicas:

(1) Condutância estomática (COND): Foi realizada em duas épocas distintas (durante estresse hídrico e pós estresse hídrico) nos anos de 2023 e 2024. Essa medida é a função da densidade, tamanho e grau de abertura dos estômatos, que são poros nas plantas e que se abrem para o ar externo. A análise foi realizada através de um porômetro de folhas, equipamento Leaf Porometer, modelo SC-1, marca Decagon Devices, quantifica a taxa de troca gasosa (entrada de CO₂ e saída de vapor de água), dado em mmol m⁻²s⁻¹. As leituras foram realizadas no período matutino, na face abaxial das folhas totalmente expandidas, entre 8h e 10h da manhã, sob radiação solar.

(2) Conteúdo relativo de água (CRA): é uma medida, dado em %, que indica o estado hídrico das plantas, principalmente das folhas. É obtido utilizando a relação entre a diferença de pesos das folhas, ou seja, a diferença de peso fresco e seco, e a diferença de peso túrgido e seco.

$$CRA = \left[\frac{(Mf - Ms)}{(Mst - Ms)} \right] \cdot 100$$

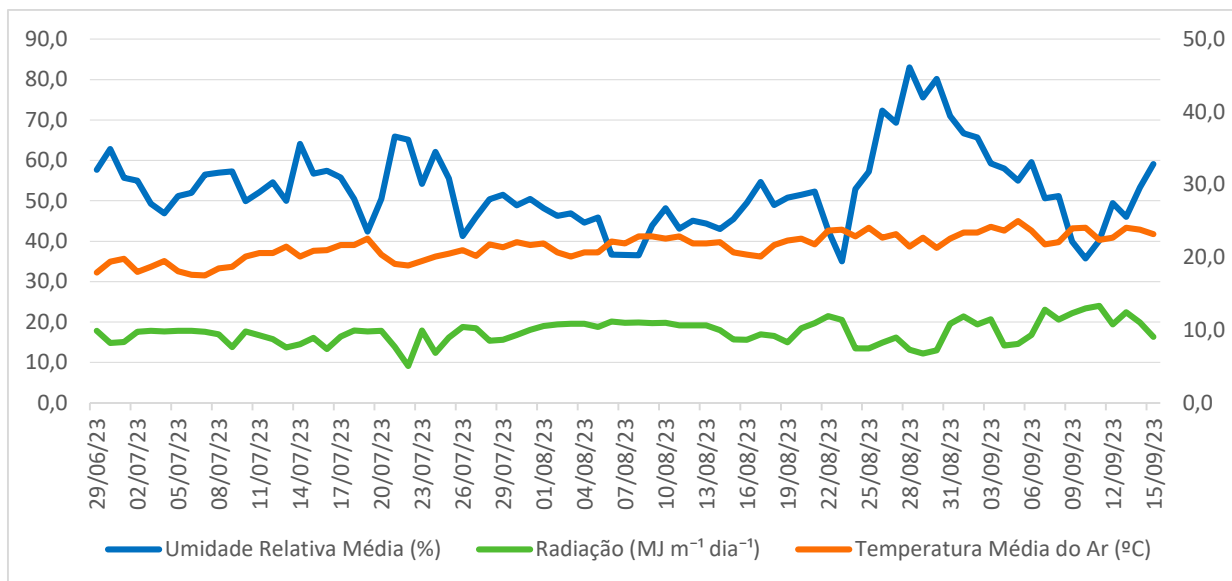
Em que, CRA é o conteúdo relativo de água na folha (%), *Mf* à massa de matéria fresca do disco foliar (g disco⁻¹), *Ms* à massa de matéria seca do disco foliar (g disco⁻¹), e *Mst* à massa de matéria fresca saturada do disco foliar (g disco⁻¹).

(3) Estabilidade da membrana celular (CMS): refere-se à capacidade das membranas celulares de manter sua integridade estrutural e funcional. O indicador avalia o fluxo de eletrólitos celulares (EL) liberados do tecido foliar, dado em %. É obtido através do vazamento de eletrólitos medido por um condutivímetro (μS cm⁻¹) em duas situações, antes e após incubação. Isso é realizado para ocorrer a quebra da membrana plasmática e consequentemente acontecer a liberação dos eletrólitos.

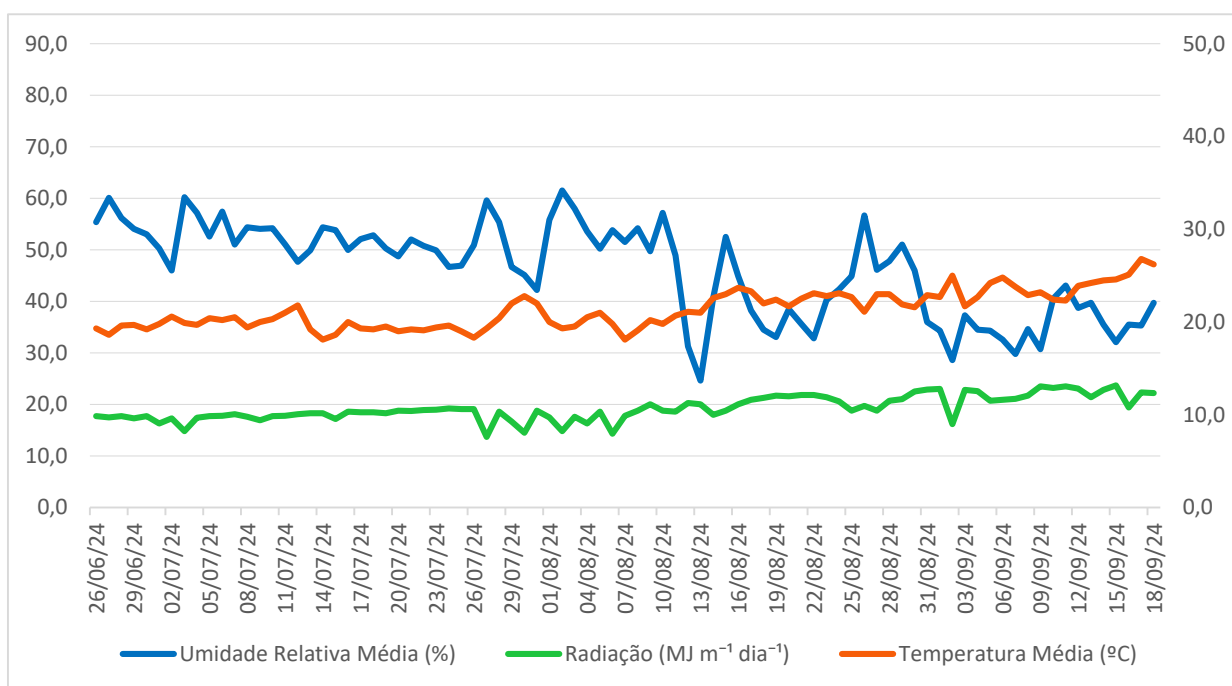
$$CMS = 1 - \left[\frac{(Cond1)}{(Cond2)} \right] \cdot 100$$

Em que, CMS é a estabilidade da membrana celular (%), *Cond1* é a condutividade elétrica inicial (μS cm⁻¹), e *Cond2* é a condutividade elétrica final (μS cm⁻¹).

Foram coletados os dados dos principais elementos climatológicos que influenciam na fisiologia da planta, sendo eles: temperaturas média do ar, em °C; umidade relativa do ar média, em %; e radiação, em MJ m⁻¹ dia⁻¹, dos períodos de avaliação fisiológica, nos anos de 2023 e 2024 (Figura 7).



(a)



(b)

Figura 1. Dados climatológicos da estação meteorológica automática principal da Embrapa Cerrados de 29/06/2023 a 15/09/2023 (a) e de 26/06/2024 a 18/09/2024 (b). Planaltina, Distrito Federal.

As variáveis foram avaliadas por meio de análise de variância, considerando-se exclusivamente os clones como fonte de variação (Tabela 2). Foi adotado o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + B_j + G_i + \varepsilon_{ij}$$

onde:

Y_{ij} = é o valor observado relativo da característica do i-ésimo genótipo na j-ésima repetição;

μ = média geral;

B_j = efeito do j-ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, b$);

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

ε_{ij} = erro aleatório.

Tabela 1. Esquema da análise de variância de um modelo de delineamento em blocos casualizado, com as esperanças dos quadrados médios e teste F para a fonte de variação.

FV	GL	QM	E (QM)	F
Blocos	$r - 1$	QMB	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2 + ga\sigma_b^2$	
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	$(r-1)(g-1)$	$QMEa$	$\sigma_{\varepsilon b}^2 + a\sigma_{\varepsilon a}^2$	
Total	$gar - 1$			

Os pressupostos de normalidade e homogeneidade de variância foram verificados respectivamente pelos testes de Shapiro-Wilk e Levene (Shapiro; Wilk, 1965). Atendidos os pressupostos, as médias foram comparadas a partir do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As variáveis foram analisadas por meio de regressão linear simples, com o objetivo de avaliar a relação entre os dados observados e a variável independente considerada (anos). Para verificar a adequação do modelo foram testados os pressupostos de normalidade dos resíduos, homocedasticidade e independência dos erros, por meio dos testes de Shapiro-Wilk, Breusch-Pagan e Durbin-Watson, respectivamente (Shapiro; Wilk, 1965; Brown; Forsythe, 1974).

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa R versão 4.3.3.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância (ANOVA) foi conduzida considerando exclusivamente os clones como fonte de variação, sendo realizada separadamente para os anos de 2023 e 2024, de acordo com os diferentes dias de avaliação. Os resultados obtidos indicaram diferenças estatisticamente significativas entre os genótipos, para condutância estomática, nos dias 07 de julho e 18 de agosto em 2023, e 03 de julho e 29 de julho em 2024 (Tabela 2). Para a variável CRA, os resultados mostraram que houve diferença estatísticas entre os clones apenas no dia 29 de agosto de 2023, e em 2024 nenhum clone apresentou significância (Tabela 2). Por fim, em CMS, nos dois dias de avaliação em 2023, os clones se diferenciaram estatisticamente, algo não visualizado em 2024, em que nenhum genótipo apresenta diferença estatística significativa.

Tabela 2. Resumo da análise de variância, considerando-se exclusivamente os clones como fonte de variação, para todos os dias de avaliação de condutância estomática (COND), conteúdo relativo de água (CRA) e estabilidade da membrana celular (CMS), nos dois anos de análises, 2023 e 2024 respectivamente, em 4 genótipos de café conilon, sob sistema de cultivo irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal.

COND 2023

FV	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM	GL	QM
	29/jun 1º DAE		07/jul 9º DAE		21/jul 23º DAE		07/ago 40º DAE		18/ago 51º DAE		04/set 12º DARI		15/set 23º DARI	
Genótipos	3	1.182,2 ^{n.s.}	3	3.865,6 ^{**}	3	322,24 ^{n.s.}	3	278,95 ^{n.s.}	3	96,483 ^{**}	3	499,1 ^{n.s.}	3	587,11 ^{n.s.}
Bloco	2	7.124 ^{n.s.}	2	11,9 ^{n.s.}	2	2.220,08 ^{n.s.}	2	512,38 ^{n.s.}	2	109,746 ^{**}	2	4.832,1 [*]	2	1.227,61 ^{n.s.}
Resíduo	24	3.351,4	27	670	30	779,48	42	188,11	42	17,062	42	1.115,3	42	2.690,37
Total	29		32		35		47		47		47		47	
CV (%)		46,80%		21,96%		19,58%		26,61%		25,49%		25,31%		23,55%

COND 2024

FV	GL	QM									
		03/jul 3º DAE	11/jul 11º DAE	18/jul 18º DAE	29/jul 29º DAE	12/ago 43º DAE	20/ago 51º DAE	27/ago 58º DAE	05/set 9º DARI	13/set 17º DARI	18/set 22º DARI
Genótipos	3	9.267,3 [*]	1.475,16 ^{n.s.}	1.188,68 ^{n.s.}	3.727,8 ^{***}	139,06 ^{n.s.}	1.214,5 ^{n.s.}	247,43 ^{n.s.}	1.608,55 ^{n.s.}	1.423,5 ^{n.s.}	205,01 ^{n.s.}
Bloco	2	1.431,7 ^{n.s.}	364,54 ^{n.s.}	141,46 ^{n.s.}	721,5 ^{n.s.}	513,76 ^{n.s.}	3.572,4 ^{**}	1.446,61 ^{n.s.}	34,51 ^{n.s.}	2.916,3 ^{n.s.}	2.479,96 ^{n.s.}
Resíduo	42	3.028,5	1.175,58	1.226,85	432,1	278,01	649	848,58	1.035,94	2.792,6	2.346,44
Total	47										
CV (%)		30,07%	43,84%	31,98%	26,49%	33,94%	47,50%	33,72%	27,29%	28,40%	24,63%

CRA 2023

FV	GL	QM	
		21/ago 54° DAE	29/ago 6° DARI
Genótipos	3	652,27***	32,598 ^{n.s.}
Bloco	2	157,49*	68,91 ^{n.s.}
Resíduo	30	39,27	45,638
Total	35		
CV (%)		10,92%	9,37%

CRA 2024

FV	GL	QM			
		10/jul 10° DAE	30/jul 30° DAE	20/ago 51° DAE	09/set 13° DARI
Genótipos	3	520,66 ^{n.s.}	314,15 ^{n.s.}	227,77 ^{n.s.}	340,02 ^{n.s.}
Bloco	2	339,25 ^{n.s.}	157,41 ^{n.s.}	1.086,01 ^{n.s.}	547,91 ^{n.s.}
Resíduo	30	479,38	489,14	667,66	485,25
Total	35				
CV (%)		29,75%	33,91%	40,11%	29,65%

CMS 2023

FV	GL	QM	
		21/ago 54° DAE	29/ago 6° DARI
Genótipos	3	700,43**	56,657*
Bloco	2	950,17**	7,444 ^{n.s.}
Resíduo	30	151,87	18,951
Total	35		
CV (%)		19,22%	5,28%

CMS 2024

FV	GL	QM			
		10/jul 10° DAE	30/jul 30° DAE	20/ago 51° DAE	09/set 13° DARI
Genótipos	3	64,284 ^{n.s.}	107,912 ^{n.s.}	216,05 ^{n.s.}	3,1576 ^{n.s.}
Bloco	2	26,676 ^{n.s.}	109,958 ^{n.s.}	349,16 ^{n.s.}	11,1765*
Resíduo	30	134,195	91,155	118,81	2,716
Total	35				
CV (%)		14,22%	11,86%	13,72%	1,91%

^{n.s.} Não significativo a 5% de probabilidade. ***, ** e * Significativo a 0,1%, 1% e 5% de probabilidade pelo teste F. FV, fonte de variação. GL, graus de liberdade. QM, quadrado médio. CV, coeficiente de variação.

É possível verificar os coeficientes de variação (CV) superiores a 20%, valor geralmente considerado elevado segundo a literatura estatística convencional (Tabela 2). No entanto, é importante destacar que, em experimentações fisiológicas, como a conduzida neste estudo, essa magnitude de CV é comum e aceitável, especialmente quando se avaliam variáveis com alta sensibilidade a variações microambientais, como é o caso da condutância estomática, conteúdo relativo de água e estabilidade da membrana celular.

As variáveis fisiológicas avaliadas são altamente dinâmica, influenciada por fatores ambientais de difícil controle, como radiação solar, temperatura e umidade relativa (Taiz et al., 2021). Mesmo sob condições experimentais padronizadas, essas flutuações ambientais e a própria heterogeneidade fisiológica entre plantas podem contribuir significativamente para a variabilidade dos dados.

Conforme apontado por Pimentel-Gomes (2009), em experimentos com características fisiológicas e ambientais complexas, é esperado que o CV ultrapasse os limites tradicionalmente considerados baixos, sem que isso comprometa a validade ou a interpretação dos resultados. Assim, o CV elevado observado neste trabalho reflete a natureza

intrinsecamente variável da resposta fisiológica do cafeeiro e não deve ser interpretado, isoladamente, como um indicativo de baixa precisão experimental.

As médias foram comparadas a partir do teste de Tukey a 5% de probabilidade. No ano de 2023, através da condutância estomática, observou-se que todos os clones atingiram o auge do estresse hídrico entre o intervalo de 40 a 51 dias após o estresse (DAE). Dentre os clones, o clone 405 destacou-se por apresentar maior tolerância à condição de estresse, evidenciada principalmente pelos valores superiores de condutância estomática. Essa característica fisiológica o diferenciou estatisticamente dos demais em pelo menos dois momentos de avaliação, 07 de julho (9 DAE) e 18 de agosto (51 DAE), conforme apresentado na Tabela 3.

Após o retorno da irrigação, que ocorreu após um período de 57 dias de suspensão hídrica, verificou-se que todos os clones mostraram boa capacidade de recuperação fisiológica, evidenciada pelas médias obtidas nos dias 04 de setembro (12 dias após o retorno da irrigação – DARI) e 15 de setembro (23 DARI), indicando uma retomada eficiente do funcionamento estomático (Tabela 3).

Tabela 3. Média da condutância estomática (COND) avaliadas em 4 genótipos de café conilon sob sistema irrigado no Cerrado, com período de estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal. 2023.

Clones	Condutância Estomática 2023 (mmol m ⁻² s ⁻¹)							
	29/jun 1° DAE	07/jul 9° DAE	21/jul 23° DAE	07/ago 40° DAE	18/ago 51° DAE	04/set 12° DARI	15/set 23° DARI	
401	114,69 a	104,70 b	142,39 a	48,75 a	15,15 b	132,43 a	223,60 a	
405	114,20 a	153,05 a	136,32 a	55,77 a	20,38 a	140,54 a	226,99 a	
407	121,57 a	123,57 ab	141,07 a	46,19 a	15,22 b	129,70 a	210,79 a	
412	141,04 a	101,82 b	150,70 a	55,48 a	14,07 b	125,19 a	219,44 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No ano de 2024, o número de avaliações foi ampliado em relação ao ano anterior, com o objetivo de obter maior precisão na identificação do período crítico de estresse. Nesse segundo ciclo, o estresse estomático mais acentuado foi registrado entre 30 e 43 DAE. Pinheiro et al. (2005), avaliaram mudas de 12 meses de 4 clones de café conilon, dois tolerantes a estresse e dois susceptíveis e submeteram ao estresse hídrico. Os autores verificaram uma variação de 25 a 34 dias para atingirem o potencial hídrico de -3 MPA, ponto máximo para a reidratação dos vasos. Estes dados corroboram as avaliações em campo experimental. O clone 407 demonstrou maior tolerância à seca, se diferenciando estatisticamente dos clones 401 e 405 e não

apresentando queda expressiva na condutância estomática no dia 29 de julho (29 DAE) (Tabela 4). O clone 405, por sua vez, manifestou desempenho consistente, destacando-se especialmente no início do período de estresse. No 3º dia após o estresse (3 DAE), apresentou maior média e se diferenciou estatisticamente do clone 401, evidenciando maior estabilidade estomática. Esse comportamento sugere uma capacidade superior de controle da abertura estomática, o que pode estar associado a uma regulação eficiente da perda hídrica e ao uso estratégico das reservas fisiológicas da planta (Tabela 4). Ainda observando o comportamento do clone 405, que inicia com a maior taxa de abertura estomática, mesmo não se diferenciando estatisticamente do restante dos clones, é possível visualizar que o mesmo apresenta menores valores de condutância em comparação aos outros clones para os dias avaliados, ele não consegue manter uma estabilidade e equilíbrio estomático.

Quanto à fase de recuperação após o retorno da irrigação em 2024, todos os clones responderam positivamente, sem diferenças estatísticas entre si, o que reforça a resposta fisiológica das plantas após o período de déficit hídrico (Tabela 4).

Tabela 4. Média da condutância estomática (COND) avaliadas em 4 genótipos de café conilon sob sistema irrigado no Cerrado, com período de estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal. 2024.

Clones	Condutância Estomática 2024 (mmol m ⁻² s ⁻¹)									
	03/jul 3º DAE	11/jul 11º DAE	18/jul 18º DAE	29/jul 29º DAE	12/ago 43º DAE	20/ago 51º DAE	27/ago 58º DAE	05/set 9º DARI	13/set 17º DARI	18/set 22º DARI
401	157,86 b	92,24 a	114,39 a	75,37 b	47,78 A	54,17 a	88,14 a	104,53 a	196,73 a	198,08 a
405	220,90 a	71,93 a	95,39 a	57,65 b	46,65 A	66,23 a	86,29 a	127,71 a	77,72 a	198,33 a
407	167,50 ab	81,46 a	118,08 a	100,50 a	54,17 A	52,46 a	80,21 a	111,97 a	175,67 a	199,82 a
412	185,84 ab	67,17 a	110,23 a	80,35 ab	47,93 A	41,66 a	90,93 a	127,48 a	194,09 a	190,62 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Ao se observar as médias diárias de condutância estomática ao longo do período, nos dois anos de avaliação, nota-se uma oscilação entre os dias de análise.

Em 2023, constatou-se oscilação nos valores de condutância estomática entre os dias 07 de julho (9 DAE) e 21 de julho (23 DAE), período no qual alguns clones exibiram aumento nos valores dessa variável, contrariando a expectativa de redução fisiológica da abertura estomática diante da continuidade do déficit hídrico. Tal comportamento pode ser compreendido a partir das variações das condições atmosféricas ao longo do período, evidenciadas na Figura 1 (a), que expõe os dados climáticos diários.

No presente caso, o aumento da condutância estomática constatada no 23º DAE, em relação ao 9º DAE, pode estar relacionado a uma redução do estresse abiótico naquele momento, especialmente em virtude da elevação da umidade relativa do ar e da diminuição tanto da radiação solar quanto da insolação diária. Essas variáveis ambientais exercem forte influência sobre a abertura estomática, atuando na regulação do balanço hídrico da planta (Taiz et al., 2021).

Em estudo com *Coffea canephora* cultivado em sistema irrigado, evidenciou-se que durante a estação chuvosa, com elevada umidade relativa e menor déficit de pressão de vapor (VPD), foi registrada maior condutância estomática (g_s) em comparação ao período seco, quando o VPD elevou-se e g_s caiu (Custódio et al., 2022). Outro estudo, com cafeeiros sob pleno sol e sombreamento, demonstrou que o g_s responde fortemente ao VPD e à irradiância, sendo que valores mais altos de VPD e radiação desencadeiam fechamento estomático, mesmo com água no solo disponível (Fanjul; Arreola-Rodríguez; Mendez-Castrejón, 1985).

Em condições de menor demanda evaporativa da atmosfera, caracterizada por baixa radiação, menor temperatura do ar e alta umidade relativa do ar, é comum que os estômatos se mantenham mais abertos, mesmo em plantas submetidas a déficit hídrico, como estratégia para manter o fluxo de CO_2 e a fotossíntese (Chaves et al., 2009; Flexas et al., 2004).

Além disso, a condutância estomática é um parâmetro altamente sensível a pequenas mudanças meteorológicas, refletindo rapidamente as variações nas condições ambientais. Com base em Driesen et al. (2020), essas variações promovem respostas rápidas nos estômatos, que mantêm maior abertura sob condições de umidade elevada e menor radiação, favorecendo a fotossíntese mesmo em fases esperadas de redução fisiológica da condutância. Dessa forma, mesmo diante de um solo com disponibilidade hídrica limitada, a planta pode expressar uma reabertura parcial dos estômatos quando a atmosfera se torna menos agressiva, como observado no presente estudo.

Em 2024, a condutância estomática revelou oscilações distintas em dois momentos ao longo do período de estresse hídrico. O primeiro ocorreu nos dias iniciais do déficit, entre 03 de julho (3 DAE) e 18 de julho (18 DAE), período no qual foi notada uma acentuada redução na abertura estomática, especialmente no 11º DAE. Esse comportamento pode ser atribuído a um conjunto de fatores fisiológicos e operacionais. Além do próprio avanço do estresse hídrico, que naturalmente induz ao fechamento estomático como mecanismo de economia hídrica (Taiz et al., 2021), destaca-se a coincidência desse período com a colheita do café. Durante as avaliações, constatou-se intensa desfolha nas plantas, o que pode ter amplificado a percepção

de estresse e afetado o funcionamento fisiológico das folhas remanescentes. A desfolha excessiva compromete a integridade da planta e pode levar a alterações nos fluxos hormonais e no balanço hídrico, provocando um fechamento estomático antecipado ou mais intenso, como mecanismo de autoproteção (Chaves et al., 2003; DaMatta et al., 2003).

O segundo momento de oscilação ocorreu entre 12 de agosto (43 DAE) e 27 de agosto (58 DAE), período em que, ao contrário do esperado para um estresse hídrico prolongado, notou-se um aumento gradual da condutância estomática no 50º e 58º DAE. Tal comportamento também pode ser explicado pelas condições climáticas do período. Na Figura 1 (b), conseguimos observar uma queda brusca na umidade relativa no 43º DAE e um aumento expressivo dessa umidade relativa no 58º DAE, isso pode ilustrar uma possível indução da recuperação estomática. Esse efeito pode ter estimulado a reabertura parcial dos estômatos como resposta ao alívio parcial do estresse atmosférico e edáfico (Flexas et al., 2004; Medrano et al., 2002).

Logo, os padrões analisados nas médias reforçam a necessidade de considerar as condições ambientais momentâneas, a fisiologia intrínseca dos genótipos e a influência do ambiente na resposta estomática como fatores determinantes para a interpretação dos dados obtidos.

As médias de CRA e CMS foram comparadas através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O conteúdo relativo de água, mostrou que o clone 405 foi o que demonstrou melhor tolerância ao estresse hídrico, onde no 54º DAE foi o único a se destacar estatisticamente do restante, apresentando maior % de água nos tecidos foliares (Tabela 5). Em 2024, os clones não se diferenciaram estatisticamente (Tabela 6).

Tabela 5. Média do Conteúdo Relativo de Água (CRA) avaliadas em 4 genótipos de café conilon sob sistema irrigado no Cerrado, com período de estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal. 2023.

Clones	CRA 2023 (%)	
	21/ago 54º DAE	29/ago 6º DARI
401	52,32 b	71,59 a
405	69,87 a	74,90 a
407	55,66 b	70,65 a
412	51,65 b	71,28 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 6. Média do Conteúdo Relativo de Água (CRA) avaliadas em 4 genótipos de café conilon sob sistema irrigado no Cerrado, com período de estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal. 2024.

Clones	CRA 2024 (%)							
	10/jul 10° DAE		30/jul 30° DAE		20/ago 51° DAE		09/set 13° DARI	
401	71,60	a	66,32	a	61,34	a	73,80	a
405	77,58	a	64,28	a	70,19	a	75,10	a
407	63,90	a	57,97	a	59,23	a	66,63	a
412	81,32	a	72,30	a	66,92	a	81,62	a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação a estabilidade da membrana celular, em 2023, no 54° DAE, os clones 407 e 412 foram estatisticamente superiores ao clone 401, com médias de 72,67% e 68,21% respectivamente. O clone 405 apresentou valor intermediário (Tabela 7). Em 2024, os clones não apresentaram diferenças significativas (Tabela 8).

Tabela 7. Média da Estabilidade da Membrana Celular (CMS) avaliadas em 4 genótipos de café conilon sob sistema irrigado no Cerrado, com período de estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal. 2023.

Clones	CMS 2023 (%)			
	21/ago 54° DAE		29/ago 6° DARI	
401	52,16	b	83,92	a
405	63,43	ab	78,64	b
407	72,67	a	83,36	ab
412	68,21	a	83,64	ab

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 8. Média da Estabilidade da Membrana Celular (CMS) avaliadas em 4 genótipos de café conilon sob sistema irrigado no Cerrado, com período de estresse hídrico controlado. Planaltina, Distrito Federal. 2024.

Clones	CMS 2024 (%)							
	10/jul 10° DAE		30/jul 30° DAE		20/ago 51° DAE		09/set 13° DARI	
401	79,39	a	77,39	a	72,76	a	86,86	a
405	84,52	a	77,68	a	84,53	a	85,56	a

407	79,09	a	84,06	a	80,47	a	86,75	a
412	82,94	a	82,88	a	80,05	a	86,49	a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O número de avaliações em 2023 para CRA e CMS foi relativamente baixo, visto que as análises foram realizadas em apenas 2 dias, uma com 54 DAE e outra com 6 DARI. Apesar de fornecerem informações relevantes sobre o estado hídrico e a integridade celular das plantas, as análises isoladamente não foram suficientes para demonstrar o comportamento dos clones avaliados sob a condição de déficit hídrico.

Em 2024, o número de avaliações foi superior ao do ano anterior, sendo realizadas três análises em período de estresse hídrico controlado, com 10, 30 e 50 DAE, e uma análise no período em que à irrigação é retomada, com 13 DARI. Os resultados obtidos para o conteúdo relativo de água (CRA) e a estabilidade da membrana celular (CMS), em 2024, constataram que não houve diferenças estatisticamente significativas entre os clones de café Conilon avaliados sob estresse hídrico controlado no Cerrado. Esse comportamento uniforme entre os materiais genéticos pode estar relacionado à base genética comum entre os clones e à possível similaridade nos mecanismos fisiológicos de tolerância inicial ao estresse.

Conforme apontado por Taiz et al. (2021), o CRA é uma medida que reflete diretamente a hidratação tecidual e pode variar conforme o estágio do estresse, mas também sofre influência de adaptações morfofisiológicas como maior rigidez da parede celular ou acúmulo de solutos compatíveis (ajuste osmótico). Se os clones compartilham estratégias semelhantes de manutenção da turgidez celular, como fechamento estomático precoce ou redução da área foliar, é plausível que detenham respostas semelhantes nesse parâmetro, especialmente nos estágios iniciais do estresse.

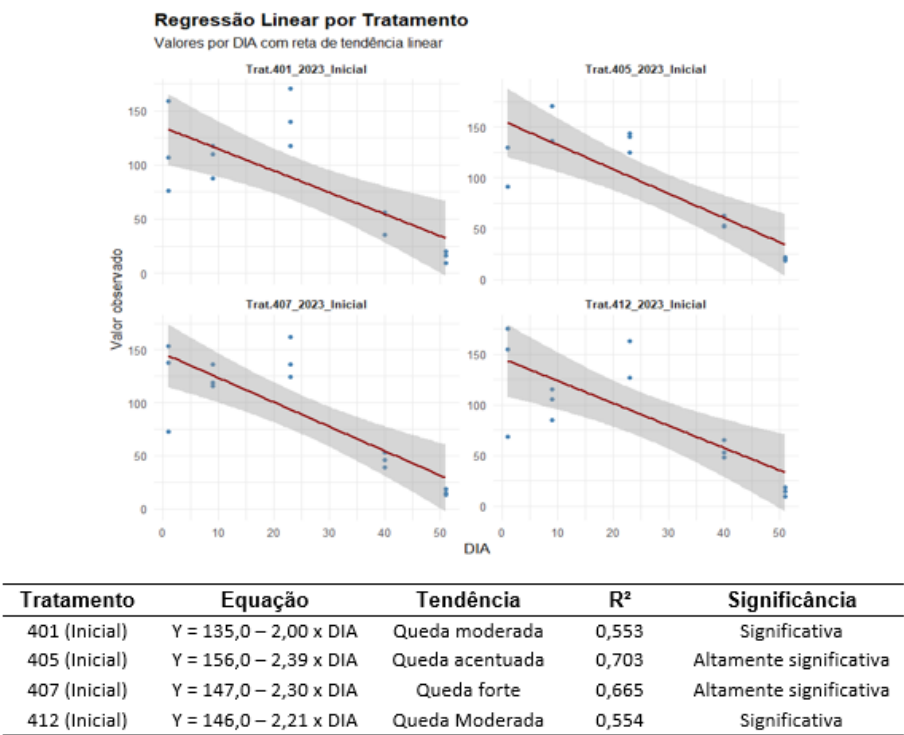
Da mesma forma, a estabilidade da membrana celular, avaliada frequentemente via extravasamento de eletrólitos, é um indicativo da integridade das membranas biológicas sob estresse, especialmente em relação à peroxidação lipídica causada por espécies reativas de oxigênio (ROS) (Blum; Ebercon, 1981). A ausência de diferenças entre os clones pode indicar que todos apresentam níveis semelhantes de proteção antioxidante ou de tolerância estrutural à perda de integridade da membrana em condições moderadas de estresse.

Além disso, estudos prévios com *C. canephora* indicam que diferenças significativas entre clones quanto a parâmetros fisiológicos nem sempre se expressam em experimentos de curta duração ou sob condições controladas (DaMatta et al., 2003; Praxedes, 2003). Fatores

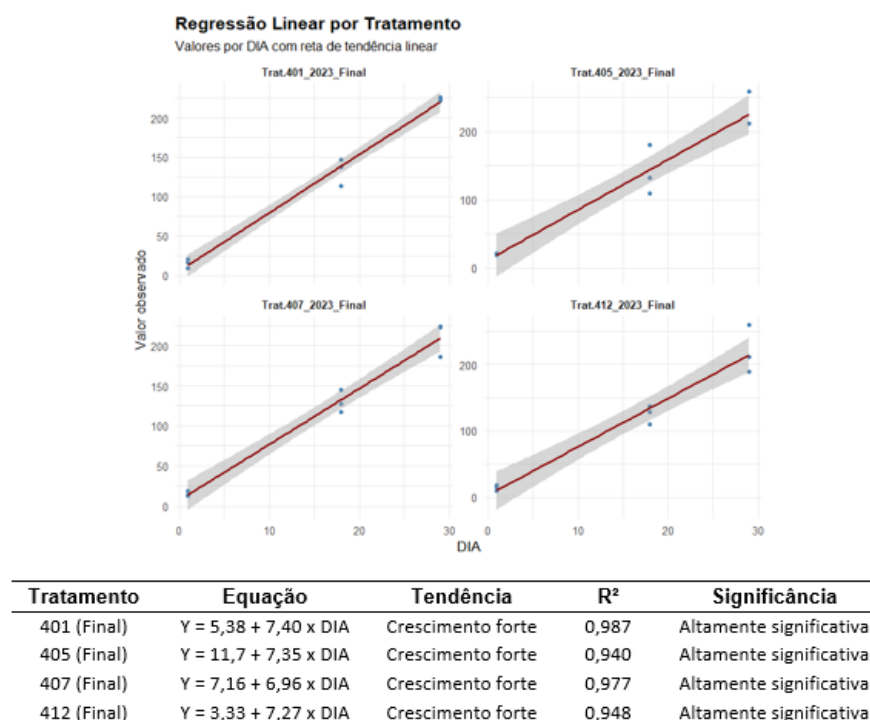
como a intensidade e duração do estresse, a sensibilidade dos métodos analíticos e o número de repetições experimentais podem influenciar a capacidade de detecção de variações reais entre os genótipos.

A aplicação da análise de regressão linear permitiu avaliar o comportamento fisiológico dos clones ao longo do período de estresse hídrico, fornecendo uma interpretação mais detalhada da variação nas respostas ao longo do tempo. Por meio dessa abordagem, foi possível identificar tendências e padrões nas variáveis fisiológicas, como a condutância estomática, o conteúdo relativo de água e a estabilidade da membrana celular, mesmo na ausência de diferenças estatísticas entre os genótipos em análises pontuais. Dessa forma, a regressão linear se mostra uma ferramenta útil para compreender a dinâmica da resposta dos clones ao déficit hídrico, contribuindo para a identificação de materiais com maior estabilidade fisiológica em condições adversas (Steel et al., 1997).

A análise de regressão linear para condutância estomática, nos dois anos de estudo, ilustra detalhadamente como os clones se comportaram durante o período de estresse hídrico controlado (inicial) e período pós estresse com retorno da irrigação (final). O comportamento dos clones, nos anos de 2023 e 2024, são apresentados nas Figuras 2 e 3, respectivamente.

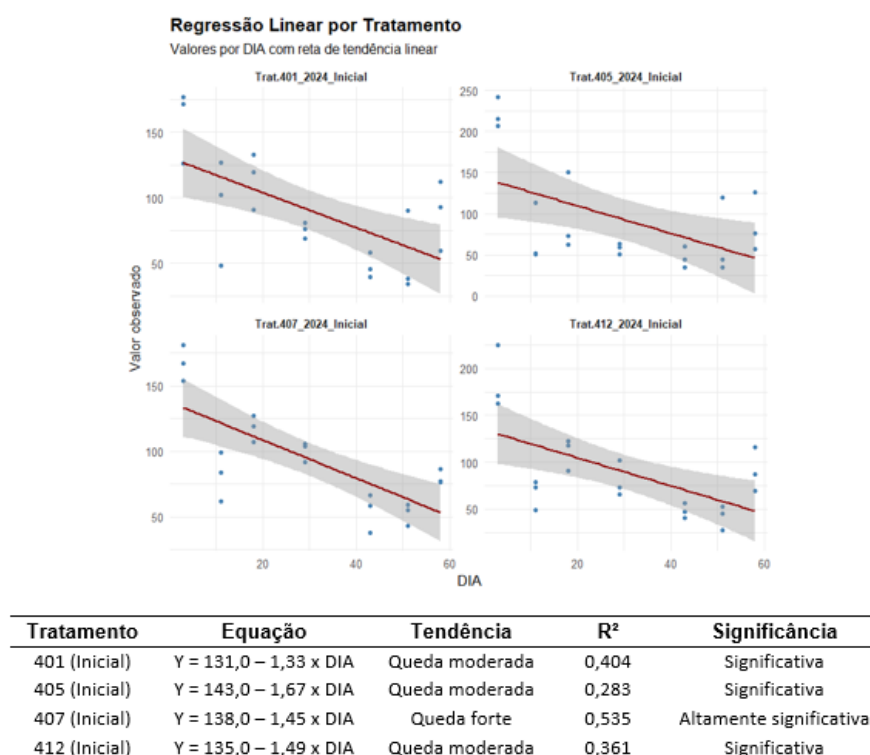


(a)



(b)

Figura 2. Análise de regressão linear para a condutância estomática, no período de estresse hídrico controlado (a) e pós estresse hídrico controlado (b). Planaltina, Distrito Federal. 2023.



(a)

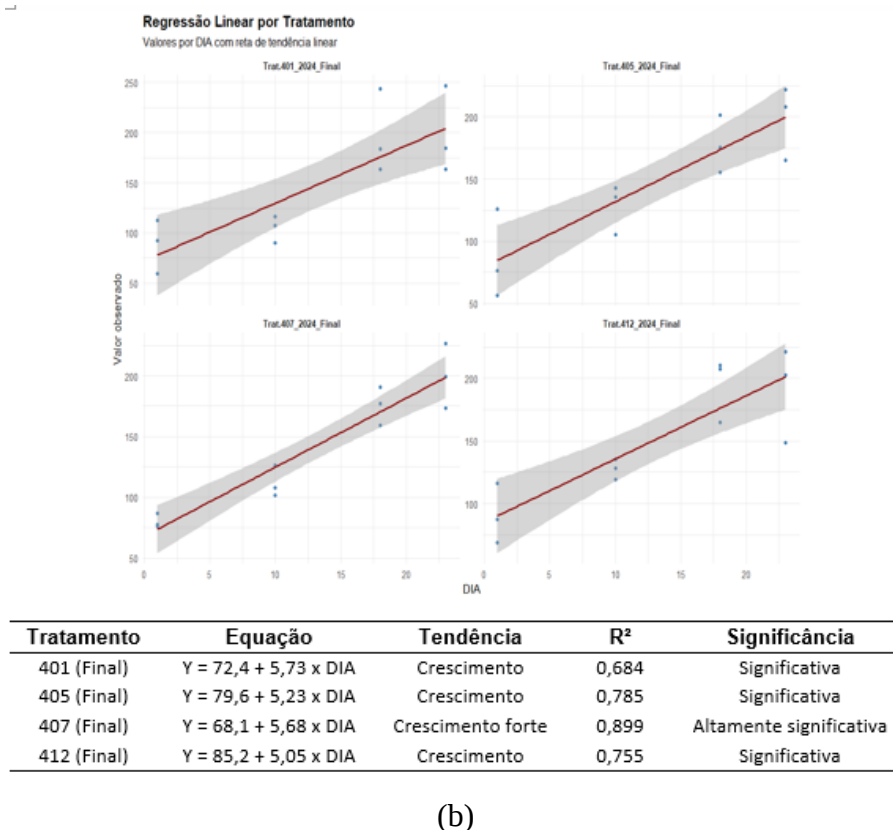


Figura 3. Análise de regressão linear para a condutância estomática, no período de estresse hídrico controlado (a) e pós estresse hídrico controlado (b). Planaltina, Distrito Federal. 2024.

Tanto no ano de 2023 quanto no ano de 2024, todos os clones apresentaram tendência de queda estatisticamente significativa na condutância estomática no período de estresse hídrico controlado (inicial), o que é esperado diante da suspensão da irrigação.

Em 2023, o clone 401 apresentou o menor coeficiente de determinação ($R^2 = 0,553$), indicando maior variabilidade dos dados de condutância estomática ao longo do tempo. Essa maior dispersão dos dados resultou em uma linha de tendência menos inclinada, com uma menor taxa de queda ($-2,00 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por dia), o que sugere uma resposta estomática mais equilibrada e adaptativa frente à condição de estresse hídrico. Ou seja, a menor redução progressiva da condutância indica que o clone foi capaz de manter sua atividade fisiológica por mais tempo, o que pode ser interpretado como uma estratégia eficiente de uso da água, favorecendo sua tolerância ao déficit hídrico.

Por outro lado, o clone 405, embora tenha apresentado o maior R^2 (0,703), o que demonstra menor variabilidade e maior aderência dos dados à linha de tendência, exibiu a maior taxa de queda na condutância estomática ($-2,39 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por dia), evidenciando uma

redução mais acentuada ao longo do tempo. Esse comportamento indica que, apesar da consistência dos dados, o clone reduziu rapidamente sua condutância, o que pode ser interpretado como uma estratégia mais conservativa, porém menos eficiente em manter o equilíbrio estomático sob estresse.

Segundo Taiz et al. (2021), plantas com maior estabilidade na condutância estomática sob estresse hídrico tendem a apresentar melhor desempenho fotossintético, uma vez que mantêm as trocas gasosas por mais tempo, o que é essencial para o crescimento e produtividade em ambientes limitantes. Portanto, o comportamento do clone 401 em 2023 destaca-se como o mais promissor, sugerindo uma fisiologia mais equilibrada.

Em 2024, o clone 405 apresentou o menor coeficiente de determinação ($R^2 = 0,283$), indicando maior variabilidade nos dados de condutância estomática ao longo do tempo. Essa maior dispersão dos dados resultou em uma linha de tendência menos inclinada, com uma taxa de declínio de $-1,67 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por dia. Apesar de a taxa de queda ser a mais elevada entre os clones, a baixa aderência ao modelo linear sugere que o comportamento do clone foi mais irregular ao longo do período de estresse, o que pode refletir uma estratégia mais dinâmica de ajuste estomático. Essa variabilidade pode estar associada à capacidade de manter aberturas estomáticas em momentos pontuais mais favoráveis, contribuindo para um melhor equilíbrio entre perda de água e assimilação de carbono. No entanto, ao se confrontar essa tendência com as análises pontuais, observa-se que o clone manteve valores consistentemente mais baixos de condutância estomática em relação aos demais, sem demonstrar capacidade efetiva de recuperação. Assim, considera-se que o clone 405 apresenta menor eficiência na regulação estomática sob condições de estresse, o que o torna menos indicado quando se busca estabilidade no balanço hídrico e no desempenho fisiológico.

Já o clone 412 apresentou um comportamento intermediário, com $R^2 = 0,361$ e uma taxa de queda mais branda ($-1,49 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por dia), indicando uma resposta também relativamente equilibrada. A proximidade entre os coeficientes de determinação de 405 e 412 reforça que ambos demonstraram uma maior variabilidade nas respostas, o que, no contexto da condutância estomática, pode ser uma vantagem fisiológica, permitindo flexibilidade diante das flutuações ambientais típicas do estresse hídrico.

O clone 407, embora tenha apresentado o maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,535$), o que indica menor variabilidade dos dados em relação à linha de tendência, exibiu uma taxa de declínio de $-1,45 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ por dia. Esse comportamento sugere uma resposta mais consistente e linear ao estresse hídrico, mas também menos adaptativa, uma vez que a

estabilidade excessiva pode indicar fechamento estomático mais rígido e contínuo em algum período.

De acordo com Chaves et al. (2003) e Taiz et al. (2021), plantas que mantêm maior flexibilidade estomática diante do estresse hídrico podem apresentar melhor desempenho, pois conseguem modular as trocas gasosas de forma mais eficiente em função da disponibilidade hídrica e demanda evaporativa, garantindo maior eficiência no uso da água (EUA).

De acordo com Blum (2011), genótipos tolerantes ao estresse não são necessariamente aqueles que mantêm os níveis mais altos de atributos fisiológicos, mas sim os que apresentam maior estabilidade e previsibilidade em suas respostas, sendo capazes de conservar funções essenciais sob estresse. Nesse sentido, a resposta linear do clone 401 (2023) e do clone 412 (2024) indicaria em um primeiro momento que eles são os menos suscetível à oscilação fisiológica provocada pela limitação hídrica, o que pode ser interpretado como um indicativo de maior tolerância. Entretanto, é importante salientar, que os dados climatológicos são distintos para cada ano, e que a planta possui comportamentos diferentes para cada situação.

Estudos como o de Pinheiro et al. (2005), ao avaliarem clones de café canéfora sob déficit hídrico, também identificaram diferenças na taxa de redução de parâmetros fisiológicos ao longo do tempo, e destacaram clones com respostas mais lineares e adaptativas como mais promissores para ambientes com limitação hídrica. Dessa forma, este estudo reforça a importância de se considerar não apenas valores absolutos em momentos isolados, mas também o padrão e estabilidade da resposta ao longo do estresse como critérios de seleção de materiais tolerantes.

Em relação ao período pós estresse hídrico, ou seja, após o retorno da irrigação, todos os clones, em 2023 e 2024, apresentaram crescimento expressivo e estatisticamente significativo da condutância durante os dias, indicando boa recuperação fisiológica, abertura estomática progressiva, e melhoria das condições ambientais da fase final.

A aplicação da análise de regressão linear para as variáveis conteúdo relativo de água (CRA) e estabilidade da membrana celular (CMS) não foi conclusiva neste estudo, em função do número reduzido de avaliações realizadas ao longo do período de estresse hídrico. Para que a regressão linear seja uma ferramenta estatística eficaz na descrição de tendências fisiológicas ao longo do tempo, é fundamental que exista uma sequência mínima de pontos que represente adequadamente a dinâmica da variável em estudo (Pimentel-Gomes, 2009; Ferreira, 2008). Dessa forma, no presente experimento, o número limitado de avaliações, especialmente no ano

de 2023, comprometeu a formação de uma tendência linear ou mesmo a geração da equação de regressão para alguns clones.

De acordo com Zar (2010), a confiabilidade dos parâmetros estimados em uma regressão depende diretamente do número de observações e da distribuição adequada dos pontos no eixo preditor. Em situações onde há apenas dois ou três pontos, a reta ajustada pode representar mais um artefato estatístico do que uma tendência real, aumentando o risco de interpretações equivocadas.

Além disso, em estudos com variáveis fisiológicas de alta sensibilidade, como CRA e CMC, que sofrem influência direta de fatores ambientais e da variabilidade intra-genotípica, a repetição temporal é fundamental para captar oscilações significativas e possíveis padrões de adaptação ao estresse hídrico (Chaves et al., 2003). A baixa frequência de avaliações, portanto, dificultou a observação de um comportamento consistente ao longo do tempo, inviabilizando a extração de conclusões robustas a partir da modelagem linear.

Embora o estudo tenha fornecido resultados relevantes sobre o comportamento dos clones de café conilon sob estresse hídrico controlado no Cerrado, especialmente por meio das análises de condutância estomática, é importante destacar a necessidade de estudos futuros. É necessário aumentar o número de análises para as variáveis CRA e CMS, para que tenhamos resultados mais robustos, principalmente em relação a análise de regressão linear, onde o número limitado de avaliações impede a identificação de tendências ao longo do tempo. Além disso, pode ser interessante acrescentar ao trabalho, análises bioquímicas, como a quantificação de solutos osmoprotetores (prolina, açúcares solúveis), compostos relacionados ao estresse oxidativo (como o MDA) e a atividade de enzimas antioxidantes (SOD, CAT, APX), ampliando significativamente a compreensão sobre as respostas adaptativas dos clones.

4. CONCLUSÕES

O comportamento fisiológico dos clones variou entre os dois anos de avaliação, evidenciando a influência significativa das condições ambientais e da interação Genótipo × Ambiente nas características avaliadas.

A condutância estomática se mostrou um parâmetro sensível à deficiência hídrica. Verificou-se que o intervalo entre 30 e 43 dias após a suspensão da irrigação corresponde a janela crítica para a detecção de genótipos tolerantes.

Nessa perspectiva, os clones 401 (em 2023) e 412 (em 2024) demonstraram estratégias fisiológicas potencialmente mais eficientes para ambientes de seca, sendo indicados como materiais promissores para programas de melhoramento voltados à tolerância ao estresse hídrico no Cerrado.

Estudos adicionais são recomendados para ampliar a compreensão dos mecanismos de tolerância em café conilon no Cerrado do Planalto Central.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BLUM, A.; EBERCON, A. Cell membrane stability as a measure of drought and heat tolerance in wheat. **Crop Science**, v. 21, p. 43–47, 1981.

BLUM, A. **Plant breeding for water-limited environments**. New York: Springer Science & Business Media, 2011.

BROWN, M. B.; FORSYTHE, A. B. Robust Tests for the Equality of Variances. **Journal of the American Statistical Association**, v.69, n.346, p.364–367, 1974.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J. S.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M. L.; RICARDO, C. P.; OSÓRIO, M. L.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINTO, C. A. How plants cope with water stress in the field. **Annals of Botany**, v. 89, p. 907–916, 2003.

CHAVES, M. M.; MAROCO, J. P.; PEREIRA, J. S. Understanding plant responses to drought — from genes to the whole plant. **Functional Plant Biology**, v.30, n.3, p.239–264, 2003.

CHAVES, M. M.; FLEXAS, J.; PINHEIRO, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. **Annals of Botany**, v.103, n.4, p.551–560, 2009.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. **Levantamento da safra de café 2024: produção estimada em 58,08 milhões de sacas — safra 2024**. Brasília, DF: CONAB, 2024.

CUSTODIO, A. M.; DE MENEZES SILVA, P. E.; SANTOS, T. R. D.; LOURENÇO, L. L.; AVILA, R. G.; DA SILVA, A. R.; SILVA, F. G. Seasonal variation in physiological traits of Amazonian *Coffea canephora* genotypes in cultivation systems with contrasting water availability. **Agronomy**, v.12, n.12, p.3197, 2022.

CUSTÓDIO, A. L.; SILVA, F. R.; SOUZA, L. M.; PEREIRA, M. T.; OLIVEIRA, C. H. Seasonal variation of physiological traits in *Coffea canephora* genotypes under water deficit in the Brazilian Amazon. ResearchGate, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Stomatal-conductance-and-carbon-dioxide-assimilation-for-Coffea-canephora-FRT07-plants_fig3_339692091. Acesso em: Mar. 2025.

DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E.; GOMES, M. M. A.; FONSECA, A. F.; ARAÚJO, W. L. Effects of water deficits on the physiology and growth of coffee plants. **Scientia Horticulturae**, v. 98, p. 307–317, 2003.

DAMATTA, F. M.; RAMALHO, J. D. C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.18, n.1, p.55-81. 2006.

DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.4, p.485–510, 2007.

DRIESEN, E.; VAN DEN ENDE, W.; DE PROFT, M.; SAEYS, W. Influence of Environmental Factors Light, CO₂, Temperature, and Relative Humidity on Stomatal Opening and Development: A Review. **Agronomy**, v. 10, n. 12, art. 1975, 2020.

FANJUL, L.; ARREOLA-RODRIGUEZ, R.; MENDEZ-CASTREJON, M. P. Stomatal responses to environmental variables in shade and sun grown coffee plants in Mexico. **Experimental Agriculture**, v.21, n.3, p.249-258, 1985.

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

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G.; DE MUNER, L. H.; VERDIN FILHO, A. C.; VOLPI, P. S.; MARQUES, E. M .G.; ZUCATELI, F. Café Conilon: técnicas de produção com variedades melhoradas. 3. ed. Vitória: Incaper, 2007, 60 p. (Incaper: Circular Técnica, 03-I).

FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**. Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência e Extensão Rural (INCAPER). Vitória, ES. 384p. 2017.

FERRÃO, R. G.; VOLPI, P. S.; FERRÃO, M. A. G.; VERDIN FILHO, A. C.; FONSECA, A. F. A. da; FERRÃO, L. M. V.; FERRÃO, L, F, V. Melhoramento genético para obtenção da Cultivar Marilândia es 8143, variedade clonal de café conilon tolerante a seca. **MultiScience Research**, v.1, n.1, 2018.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. In: Revista symposium, p. 36-41, 2008.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. D. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. **Plant Biology**, v.6, p.269–279, 2004.

MEDRANO, H.; ESCOBAR, R.; PÉREZ, P.; BOTA, J.; CHAVES, M. M. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of botany**, v.89, n.7, p.895-905, 2002.

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J. **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna**. Columbia University Press. 2002.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009.

PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v.96, n.1, p.101-108, 2005.

PRAXEDES, S. C. Efeito do déficit hídrico no metabolismo fotossintético de clones de *Coffea canephora* cv. Conilon com tolerância diferencial a seca. 41p. Dissertação (mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, 2003.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; SILVA, F. A. M.; MACHADO JÚNIOR, J. R. R.; ARAÚJO, M. C. de; SILVA, H. C. **Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). **Biometrika**, v.52, n.3/4, p.591–611, 1965.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; GUIMARÃES, B. L. S.; PAIVA, R. M. C.; SILVA, V. F.; FERRÃO, M. A. G.; DAMATTA, F. M.; LOUREIRO, M. E. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.5, p.457-464, 2010.

SILVA, T. P. **Caracterização de clones de cafés conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) em sistema irrigado no Cerrado Central**. Dissertação de Mestrado. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023, 83 p.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H.; DICKEY, D. A. **Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fundamentos de Fisiologia Vegetal**. 6. Artmed Editora. 2021.

THIOUNE, A.; DIOP, B.; SARR, M.; NDIAYE, A.; FALL, C.; MBODJ, F. Impacts of water deficit on stomatal conductance and CO₂ assimilation in *Coffea canephora* FRT07. **Journal of Plant Research**, 2020.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**. 5. ed. Pearson Prentice-Hall, 2010.