



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

**TOLERÂNCIA À SECA E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE
GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA**

PATRICIA CARVALHO DA SILVA

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 011/2023

BRASÍLIA/DF
MAIO/2023

011/23

P.C. SILVA - DOUTORA - 2023



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

**TOLERÂNCIA À SECA E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE
GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA**

PATRICIA CARVALHO DA SILVA

ORIENTADORA: MARIA LUCRÉCIA GEROSA RAMOS

COORIENTADOR: WALTER QUADROS RIBEIRO JÚNIOR

TESE DE DOUTORADO EM AGRONOMIA

PUBLICAÇÃO: 011/2023

BRASÍLIA/DF

MAIO/2023



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

**TOLERÂNCIA À SECA E EFICIÊNCIA NO USO DA ÁGUA DE
GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA**

PATRICIA CARVALHO DA SILVA

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM AGRONOMIA.

APROVADA POR:

**NARA OLIVEIRA SILVA SOUZA, Dra. /FAV – UnB (Presidente) e-mail:
narasouza@unb.br**

**CHRISTINA CLEO VINSON, Dra. /IFPA (membro externo) e-mail:
ccvinson@gmail.com**

**ADRIANO DELLY VEIGA, Dr. /EMBRAPA (membro externo) e-mail:
adriano.veiga@embrapa.br**

**MAISA SANTOS JOAQUIM, Dra./FAV – UNB (membro interno) e-mail:
maisaub@gmail.com**

BRASÍLIA/DF, 19 de maio de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Patricia Carvalho

Tolerância à seca e eficiência no uso da água de genótipos de café arábica.
/Patricia Silva; orientação: Maria Lucrecia Gerosa Ramos. – Brasília, 2023.

129 p. : il.

Tese de Doutorado (D) – Universidade de Brasília/Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, 2023.

1. Fisiologia 2. Genótipos de café 3. Estresse hídrico 4. Viabilidade econômica I. Ramos, M.L.G. II. D.Sc.

CDD ou CDU

Agris / FAO

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, P. C. **Tolerância à seca e eficiência no uso da água de genótipos de café arábica**. Brasília: Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, 2023,129 p. Tese de doutorado.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: PATRICIA CARVALHO DA SILVA

TÍTULO DA TESE: Tolerância à seca e eficiência no uso da água de genótipos de café arábica.

GRAU: Doutora

ANO: 2023

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

Nome: PATRICIA CARVALHO DA SILVA

Email: patriciacarvalhoagro@gmail.com.com

Dedico este trabalho à minha mãe Maria Jaci da Silva (in memoriam) e ao meu pai Edmar Carvalho da Silva (in memoriam), por terem sido meus grandes influenciadores e motivadores. A eles minha eterna gratidão!

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus por me dar força, sabedoria, coragem, discernimento, perseverança e fé para conseguir concluir mais esse propósito. Agradeço ainda, por ter me sustentando com o seu braço de Pai diante de tantos momentos complexos vivenciados durante esses quatro anos de doutorado.

À minha família: irmãos, cunhados e sobrinhos pelo amor, apoio, incentivo e carinho durante toda essa caminhada.

À Professora e orientadora PhD Maria Lucrécia Gerosa Ramos e ao pesquisador e coorientador PhD Walter Quadros Ribeiro Júnior, pela amizade, compreensão, apoio, confiança e orientação durante todo o curso.

Ao pesquisador Dr. Adriano Delly Veiga pela orientação durante a condução do experimento e escrita científica.

À Dra. Maísa Santos Joaquim pela orientação durante análises e escrita de artigo científico.

À Dra. Christina Cleo Vison pela parceria, ensinamentos, amizade e auxílio ao longo do desenvolvimento do projeto e escrita científica.

Aos colegas de Pós-Graduação e amigos Lemerson Brasileiro e Nathalia Henriques pelo apoio, força, amizade e parceria no desenvolvimento deste projeto. Do mesmo modo, agradeço ao Guilherme Filgueiras, Charles Santana e Caroline Cardoso pela parceria.

Aos funcionários da Embrapa Cerrados José Reis e Geraldo pelo apoio e dedicação durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus amigos Alberto do Nascimento, Ericka Paloma, Jenilton Gomes, Marco Aurélio, Patricia Ribeiro e Wesley Souza pela amizade, incentivo e força.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia– UNB pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudo.

À Embrapa Cerrados pela disponibilização da estrutura para realização do projeto.

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

RESUMO GERAL

No Brasil, a cultura do café tem grande importância econômica e social, no entanto, a produção tem sido afetada pelas condições climáticas, principalmente, devido à ocorrência de períodos cada vez mais prolongados de seca. Diante disso, o objetivo deste estudo é caracterizar genótipos de café arábica quanto à tolerância à seca e eficiência do uso da água em diferentes condições hídricas dentro da área experimental da Embrapa Cerrados, a 1000m de altitude. Cada experimento recebeu um regime hídrico com intensidade e duração diferente: IP 100 e IP 50 (irrigação plena com reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente); DH1 100 e DH1 50 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de abril a setembro e reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente; DH2 100 e DH2 50 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente e sequeiro (sem irrigação)). Foram utilizados os genótipos Catuaí 62, E237 e Iapar 59. Foi realizada a análise conjunta de grupo de experimentos. Dentro de cada experimento, utilizou-se blocos casualizados, com quatro repetições de cada genótipo. Após o início dos tratamentos com estresse hídrico foram avaliadas variáveis fisiológicas (fotossíntese, condutância estomática, transpiração e conteúdo relativo de água - CRA), morfológicas (altura, diâmetro do caule, comprimento e número de nós dos ramos plagiotrópicos esquerdo e direito, número de nós nos ortotrópicos e comprimento da copa) e a produtividade. Foram feitas avaliações fisiológicas durante o estresse (agosto) e após o início das irrigações (setembro a outubro), onde foi avaliado fisiologicamente a recuperação das plantas. Foram avaliados também diferentes cenários de cultivo de café para a determinação da viabilidade econômica: cenário anterior aos eventos climáticos significativos e à pandemia (Cenário I), cenário com efeitos da pandemia e dos eventos climáticos (Cenário II), cenário com produtividade média nacional e produtividade média em áreas irrigadas (Cenário III) e cenário de café especiais (IV). Os resultados mostraram que durante o estresse, as plantas sob o regime hídrico IP apresentaram maiores trocas gasosas e CRA, diferentemente do que ocorreu nos tratamentos DH e sequeiro; no entanto, após a irrigação, as plantas de café sob DH recuperaram seu potencial fotossintético. Plantas de sequeiro e DH 50 tiveram uma redução de mais de 50% no CRA em comparação com IPs. As variáveis de crescimento são maiores em déficit hídrico, com resultados inferiores apenas em sequeiro. A produtividade média do cafeeiro nos diferentes tratamentos variou de 14 para 120 sc ha⁻¹. O tratamento DH1 imposto nas plantas causou uma redução acentuada na produção dos grãos devido ao período prolongado sem irrigação. O DH2 100 resultou em florada única e uniforme com percentual de cereja superior a 80% e viabilidade

econômica. Os genótipos Iapar 59 e o E237 são genótipos de alta e baixa produtividade, respectivamente. Os dados de viabilidade econômica mostram que no cenário I, apenas o tratamento sequeiro não apresentou viabilidade econômica. No cenário II devido aos preços elevados a Taxa interna de retorno (TIR) apresentou valores superiores ao cenário I. Os resultados indicam que as respostas do cafeeiro ao déficit hídrico são baseadas nos mecanismos de prevenção a seca: fechamento estomático, redução da transpiração e absorção contínua de água. Os dados de produtividade mostraram que, para esses genótipos, a duração do estresse e a redução de 50% na disponibilidade hídrica limitaram a produtividade das plantas sob estresse hídrico. Deste modo, é importante uma análise para cada sistema antes de decidir-se por investir na cafeicultura. Mais importante ainda, sob condições de sequeiro, as plantas apresentaram menor potencial fisiológico, produtivo e viabilidade econômica, indicando a importância da irrigação para sustentabilidade do cultivo de *Coffea arabica* no Cerrado brasileiro.

Palavras-Chaves: Cerrado, Genótipos de café, Estresse hídrico, Fisiologia, viabilidade econômica.

ABSTRACT

In Brazil, the coffee culture has great economic and social importance, however, the production has been affected by climatic conditions, mainly due to the occurrence of increasingly prolonged periods of drought. Therefore, the objective of this study is to characterize Arabica coffee genotypes regarding drought tolerance and water use efficiency. The experimental area is divided into seven experiments. Each experiment received a water regime with different intensity and duration: FI 100 and FI 50 (full irrigation with 100% and 50% replacement of evapotranspiration, respectively), WD1 100 and WD 50 (water deficit with suspension of irrigation from April to September and replacement of 100% and 50% of evapotranspiration, respectively), WD2 100 and WD2 50 (water deficit with suspension of irrigation from June to September and replacement of 100% and 50% of evapotranspiration, rainfed (without irrigation). The genotypes Catuaí 62, E237 and Iapar 59 were used. The joint analysis of group of experiments was performed. Within each experiment, randomized blocks were used, with four replications of each genotype. After the beginning of the treatments with water stress were evaluated physiological variables (photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and relative water content), morphological (height, stem diameter, length and number of nodes of the left and right plagiotropic branches, number of nodes in the orthotropics and crown length) and productivity. Physiological evaluations were made during stress (August) and after the beginning of irrigations (September to October), where the recovery of plants was physiologically evaluated. Different scenarios of coffee cultivation for determination of economic viability were also evaluated: scenario prior to significant climatic events and the pandemic (Scenario I), scenario with effects of the pandemic and climate events (Scenario II) scenario with average national productivity and average productivity in irrigated areas (Scenario III) and special coffee scenario (IV). The results showed that during stress, plants under the FI water regime showed higher gas exchange and WRC, differently from what occurred in WH and rainfed treatments; however, after irrigation, coffee plants under WD recovered their photosynthetic potential. Rainfed plants and WD 50 had a reduction of more than 50% in WRC compared to IPs. The growth variables are higher in water deficit, with lower results only in rainfed. The average coffee yield in the different treatments ranged from 14 to 120 bag ha⁻¹. The WD1 treatment imposed on plants caused a sharp reduction in grain yield due to the prolonged period without irrigation. The WD2 100 resulted in single and uniform flowering with cherry percentage above 80% and viable and attractive economic scenario. Iapar 59 and E237 are high and low productivity genotypes, respectively. Economic viability data

show that in scenario I only the rainfed treatment did not present economic viability. In scenario II due to high prices the Internal Rate of Return (IRR) presented values higher than scenario I. The results indicate that coffee plant responses to water deficit are based on drought prevention mechanisms: stomatal closure, reduced transpiration and continuous water uptake. Yield data showed that, for these genotypes, the duration of stress and the 50% reduction in water availability limited the productivity of plants under water stress. Thus, it is important to analyze for each system before deciding to invest in coffee cultivation. More importantly, under rainfed conditions, the plants presented lower physiological, productive and economic viability potential, indicating the importance of irrigation for sustainability of *Coffea arabica* cultivation in the Brazilian Cerrado.

Key words: Cerrado, Coffee genotypes, Water stress, Physiology, Economic Viability

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fase de floração e grãos cerejas de <i>Coffea arabica</i> (A e B) e <i>Coffea canefora</i> (C e D), respectivamente.....	21
Figura 2. Morfologia dos ramos (A) e frutos do café (B).....	22
Figura 3. Produtividade de café total (arábica e conilon) no Brasil.....	24
Figura 4. Escala de notas para o desenvolvimento fenológico do cafeeiro, classificação segundo Pezzopane et al. (2003).....	26
Figura 5. Valores médios mensais de precipitação e temperatura ao longo de 46 anos (1974-2020) observados na Estação Principal da Embrapa Cerrados.....	30
Capítulo I	
Figura 1. Dados de longo prazo de precipitação pluviométrica e temperaturas média dos últimos quarenta e seis anos (1974 a 2020) ocorridos na área experimental.....	55
Figura 2. Croqui da área experimental.....	56
Figura 3. Avaliação do conteúdo relativo de água (A, B e C) e das trocas gasosas (D e E).....	58
Figura 4. Curva diária de condutância estomática (A), taxa de transpiração (B) e fotossíntese (C) de três genótipos de café.....	61
Figura 5. Condutância estomática em estresse (Aval 1) e após o retorno das irrigações (Aval 2 até 6), nos anos 2019 e 2020, de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100% (A e B), IP 50% (C e D), DH2 100% (E e F), DH2 50% (G e H) e sequeiro (I e J).....	64
Figura 6. Transpiração em estresse (Aval 1) e após o retorno das irrigações (Aval 2 até 6), nos anos 2019 e 2020, de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100% (A e B), IP 50% (C e D), DH2 100% (E e F), DH2 50% (G e H) e sequeiro (I e J).....	65

Figura 7. Fotossíntese em estresse (Aval 1) e após o retorno das irrigações (Aval 2 até 6), nos anos 2019 e 2020, de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100% (A e B), IP 50% (C e D), DH2 100% (E e F), DH2 50% (G e H) e sequeiro (I e J)).....	66
Figura 8. Condutância estomática em estresse (A e C) e após as irrigações (B e D), nos anos 2019 (A e B) e 2020 (C e D), de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro)	68
Figura 9. Transpiração em estresse (A e C) e após as irrigações (B e D), nos anos 2019 (A e B) e 2020 (C e D), de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro)	69
Figura 10. Fotossíntese em estresse (A e C) e após as irrigações (B e D), nos anos 2019 (A e B) e 2020 (C e D), de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro)	70
Figura 11. Produtividade (sacas/ha ⁻¹) de três genótipos de café arábica (E237, Iapar 59 e Catuaí 62) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, nos anos de 2019 (A) e 2020 (B).....	75

Capítulo II

Figura 1. Dados de longo prazo de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas média dos últimos quarenta e seis anos (1974 a 2020) ocorridos na área experimental.....	88
Figura 2. Croqui da área experimental.....	89
Figura 3. Diâmetro do caule (A e B) e altura de plantas (C e D), nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete	

regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020.....92

Figura 4. Comprimento do ramo plagiotrópico direito (A e B) e esquerdo (C e D) e número de nós nos ramos plagiotrópicos esquerdo (E e F) e direito (G e H) nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020.....94

Figura 5. Número de nós no ortotrópico (A e B) e comprimento da copa (C e D), nos anos de 2019 e 202, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020.....95

Figura 6. Produtividade (sacas/ha⁻¹) de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2020 (A) e 2021 (B).....96

Figura 7. Uniformidade dos grãos (%) de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2020 (A) e 2021 (B).....98

Capítulo III

Figura 1. Percentual de custo total com a produção de café irrigado.....118

Figura 2. Variação de preços da saca de café entre 2020 e 2022.....120

LISTA DE TABELA

Capítulo I

Tabela 1. Conteúdo relativo de água (%) de três genótipos de café arábica (E237, Iapar 59 e Catuaí 62) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, nos anos de 2019 e 2020.....72

Tabela 2. Efeitos dos regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro) no conteúdo relativo de água (CRA), após o retorno das irrigações das plantas, nos anos de 2019 e 2020.....73

Tabela 3. Efeitos dos genótipos de café arábica (E237, Iapar 59 e Catuaí 62) no conteúdo relativo de água (CRA), após o retorno das irrigações, nos anos de 2019 e 2020.....74

Capítulo III

Tabela 1. Produtividade do café nos diferentes sistemas e cenários.....116

Tabela 2. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em sistemas irrigados e sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário I - Início de 2020)119

Tabela 3. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em irrigação plena com 100 e 50% da evapotranspiração da cultura e sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário II)122

Tabela 4. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em irrigação plena com 100 e 50% da evapotranspiração da cultura e sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário III)123

Tabela 5. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em irrigação plena com 100 e 50% da evapotranspiração da cultura e sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário IV).....125

SUMÁRIO

1. Introdução	18
1.1. Objetivos	19
1.1.1 Objetivo Geral	19
1.1.2 Objetivos Específicos	19
2. Revisão Bibliográfica	21
2.1 Caracterização da espécie	21
2.2 Origem, distribuição geográfica e importância econômica nacional do café arábica	22
2.3 Fenologia do cafeeiro	25
2.4 Cultivo de café no Cerrado	27
2.5 Irrigação do Café	31
2.6 Fisiologia do café	35
2.7 Viabilidade econômica do café	38
Referências bibliográficas	40
CAPÍTULO I - Alterações fisiológicas do café arábica sob diferentes intensidades e durações de estresse hídrico no Cerrado brasileiro	50
RESUMO	50
3.1 Introdução	51
3.2 Material e métodos	54
3.3 Resultados e discussão	59
3.4 Conclusões	77
Referências	77
APÊNDICES	81
CAPÍTULO II - Efeitos do estresse hídrico no crescimento e uniformidade da colheita de genótipos de café arábica no Cerrado	85
RESUMO	85
4.1. Introdução	86
4.2 Material e métodos	87
4.3. Resultados e discussão	91
4.4. Conclusões	104

Referências Bibliográfica	104
APÊNDICES	109
CAPÍTULO III – Indicadores de viabilidade econômica em diferentes sistemas de cultivo de café	110
RESUMO	110
5.1. Introdução	111
5.2 Material e métodos	112
5.3. Resultados e discussão	117
5.4. Conclusões	126
Referências bibliográfica	126
6. CONCLUSÃO GERAL	129

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura do café (*Coffea arabica* L.) tem grande importância econômica e social, devido à sua representatividade no volume de produção, consumo interno, pela sua participação nas exportações e na capacidade de geração de emprego e de renda (SAKIWAMA et al., 2015). Apesar da importância do café arábica, a produtividade tem sido afetada pelas condições climáticas, principalmente devido à ocorrência de períodos cada vez mais prolongados de seca (DA MATTA et al., 2010). Assim, estudos de tolerância ao déficit hídrico pelo café, utilização de métodos de irrigação e de práticas de manejo que permitam maior eficiência no uso da água e menor consumo de energia são fundamentais para a produção das culturas (DAMATTA et al., 2010; MENEZES-SILVA et al., 2017).

A cultura do café foi introduzida no Brasil em regiões de fácil adaptação, como a região Sudeste, devido às condições climáticas mais favoráveis. Posteriormente, a cafeicultura expandiu-se para regiões com limitações hídrica, como o Cerrado, e com o auxílio da irrigação estabeleceu-se nessas áreas. Na região do Cerrado, a irrigação do café é necessária tanto nos períodos de veranicos, época chuvosa, como durante o período seco, que ocorre entre os meses de maio a setembro. Nestes períodos de extremo estresse hídrico o café requer uma maior frequência de irrigações. Entretanto, um período de estresse hídrico controlado é necessário para que ocorra a sincronização do desenvolvimento dos botões florais garantindo alta produtividade e qualidade do café (GUERRA et al., 2005).

Existem duas espécies comerciais de café, *Coffea arabica* e *Coffea canéfora*, que podem ser cultivadas em regiões com temperaturas médias anuais entre 18 e 23 °C e 21 e 26°C, respectivamente (MATIELLO et al., 2010). Cultivares de *C. canéfora* poderiam ser cultivadas em novas áreas inaptas para *C. arabica*, mas a tendência dos consumidores é por cafés arábicos de qualidade gourmet e especiais. Diante disso, os programas de melhoramento genético do

mundo transferiram genes das espécies *C. canephora*, *C. liberica* e *C. racemosa* para o *C. arábica*. Portanto, é possível identificar fontes de tolerância à seca em vários genótipos de café arábica, portadores de genes dessas três espécies. Entretanto, para que se selecionem materiais que se destaquem nesse sentido, há a necessidade de se fazer uma fenotipagem eficiente, em que se identifiquem de maneira inequívoca os genótipos contrastantes (HAWKESFORD e LORENCE, 2017).

Dentro deste contexto, propôs-se a utilizar no período seco a fenotipagem de plantas para condições de campo em que se simula níveis e duração do estresse hídrico. E desse modo, possar ser feita a identificação de mecanismos de tolerância à seca e eficiência no uso da água de genótipos de café. Além disso, os diferentes níveis de estresse possibilitam a avaliação da viabilidade econômica dos sistemas.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo Geral

- Caracterizar genótipos de café arábica quanto à tolerância à seca e avaliar a viabilidade econômica de sistemas de irrigação.

1.1.2 Objetivo específico

- Avaliar as respostas fisiológicas e produtivas dos genótipos de café nos diferentes regimes hídricos.
- Avaliar características morfológicas, produtivas dos genótipos de café e identificar períodos de estresse hídrico mais eficientes na sincronização da floração do café no Cerrado.

- Avaliar a viabilidade econômica do uso de diferentes regimes hídricos no cultivo de café no Cerrado.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Caracterização da espécie

O café pertence à família Rubiaceae e ao gênero *Coffea* L. (DAVIS et al., 2006). De acordo com Fazuoli (2006), o gênero *Coffea* L. era composto por 104 espécies, no entanto, após a realização de estudos moleculares e morfológicos que resultaram na incorporação do até então gênero *Psilanthus*, esse número passou a ser de 124 espécies. Essa incorporação amplia a distribuição para Ásia tropical e Australasia e a caracterização morfológica do gênero (DAVIS et al., 2011). Dentre essas espécies, o *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora*, são as de maior importância econômica (Figura 1). As outras espécies também são de grande importância por serem utilizadas em programas de melhoramento em virtude das características agrônômicas que possuem (FAZUOLI, 2006).



Figura 1. Fase de floração e maturação com grãos cerejas de *Coffea arábica* (A e B) e *Coffea canephora* (C e D), respectivamente.

Todas as espécies do gênero *Coffea* são arbóreas variando de arbustos a árvores de até 10 m de altura, algumas espécies são caducifólias, porém as de importância econômica são sempre verdes (TEKETAY, 1998). A conformação das folhas e ramos é oposta, os ramos podem ser definidos em dois tipos, um vertical principal chamado de ortotrópico e os ramos horizontais derivados dos nós do ramo ortotrópico chamados de plagiotrópicos (TEKETAY, 1998).



Figura 2. Morfologia dos ramos (A) e grãos do café (B).

A flor de café possui 5 pétalas (Figura 1A), corola branca, filete curto, estilete longo e estame exposto, a inflorescência ocorre em gemas axilares, geralmente de 3 a 5 flores por gema. tal morfologia permitiria a polinização cruzada natural, no entanto *Coffea arabica* é predominantemente autógamo (CARVALHO; MONACO, 1969). O fruto é uma drupa com dois pirênios convexos e dorsalmente sulcados longitudinalmente (Figura 2B), e semente com rachadura profunda na face ventral. Em *C. arabica* a semente é revestida por uma película prateada que pode ser de outras cores em outras espécies (BRIDSON, 1982; TEKETAY, 1998).

2.2. Importância econômica do café arábica

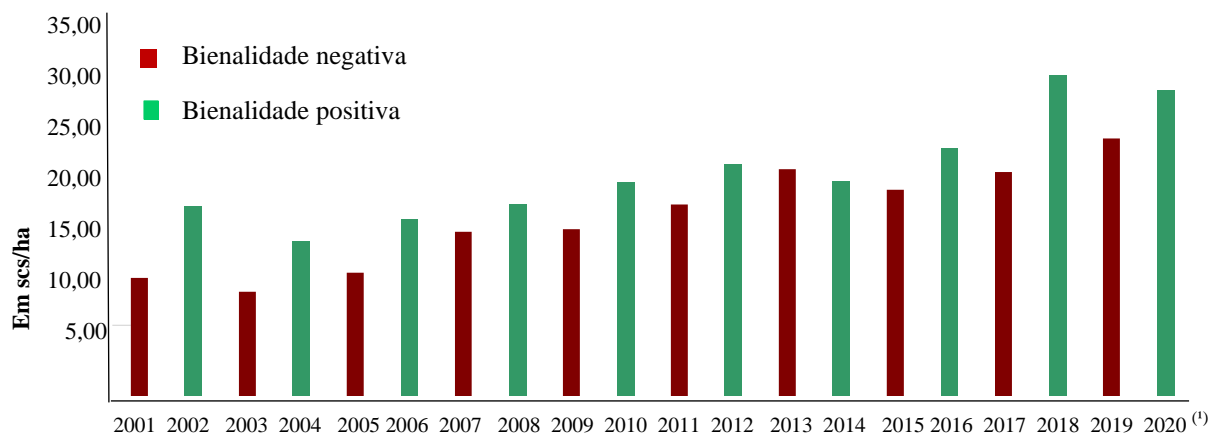
A cafeicultura brasileira é uma das atividades mais importantes para a economia do Brasil e há mais de 150 anos o país ocupa o lugar de maior produtor e exportador mundial de

café e o segundo maior consumidor (OIC, 2016). O café é a segunda bebida mais consumida no mundo e um produto básico de grande importância na economia mundial, portanto, uma das commodities agrícolas mais comercializadas no mercado internacional (OIC, 2016). É plantado em mais de 70 países distribuídos entre América latina, África e Ásia, sendo importante fonte de emprego e ingressos de divisas.

Segundo levantamento realizado em novembro de 2022 pela Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB, na safra 2022 a produção foi de 50.920,1 mil sacas de café beneficiado, 6,7 superior à safra passada (2021), porém, em relação à última temporada de bienalidade positiva (2020), observa-se uma redução de 19,3%, justamente em decorrência das adversidades climáticas no início do ciclo em muitas regiões produtoras. A área destinada à produção cresceu 1,8% em comparação ao ano passado, situando-se em 2.242,1 mil hectares; desse total 1.452,6 mil hectares (80%), correspondem ao café arábica (CONAB, 2022).

A cafeicultura brasileira está distribuída principalmente nos estados de Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná, Rondônia e Goiás, cada um com suas características próprias de ambiente e nível tecnológico (CONAB, 2022). A região Sul e o Centro-oeste de Minas Gerais são a maior produtora do país, e o estado concentra a maior área cultivada, 1.316,59 mil hectares, correspondendo, nesta safra, a 70% da área ocupada com café arábica, seguidos pelo Espírito Santo (400,3 mil hectares), São Paulo (206,4 mil hectares) e Bahia (98.6 mil hectares) (CONAB, 2022).

A cafeicultura é marcada pela bienalidade da produção (Figura 3). Essa sequência pode ser observada na Figura 3 que apresenta os dados de produção das safras de 2001 a 2020, com uma redução de 12,5% do primeiro para o segundo ano, e acréscimo de 33% do segundo para o terceiro ano (CONAB, 2019).



Nota: Ponto médio. Estimativa em janeiro/2020⁽¹⁾.

Fonte: Conab.

Figura 3. Produtividade de café total (arábica e conilon) no Brasil

O ciclo bienal é uma característica do cafeeiro e consiste na alternância entre baixa e alta produção em anos consecutivos nas lavouras (CONAB, 2020), a qual resulta em sequências de safras mais produtivas (bienalidade positiva) e menos produtivas (bienalidade negativa). As principais causas da bienalidade estão relacionadas à diminuição das reservas das plantas em anos de safra com altas produtividades, acarretando baixo desenvolvimento dos ramos plagiotrópicos e afetando a produção do ano seguinte (DAMATTA et al., 2007). Essa característica natural permite que a planta se recupere para produzir melhor na safra subsequente. Contudo uma adversidade climática pode alterar o ciclo bienal, como ocorreu em 2014 que, apesar de ser uma safra positiva, a forte restrição hídrica fez com que a produtividade fosse inferior ao ano anterior (CONAB, 2020).

2.3 Fenologia do cafeeiro

A maioria das plantas emitem as inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (CAMARGO; CAMARGO, 2001). O *Coffea* arábica é uma planta especial e completa o seu ciclo fenológico em dois anos, e este foi dividido em 6 fases para melhor compreensão. As duas primeiras fases compreendem o período vegetativo, o qual ocorre no

primeiro ano, e as três seguintes (terceira, quarta e quinta) ao período reprodutivo do cafeeiro, ocorrendo no segundo ano. A sexta fase é nomeada fase de senescência dos ramos produtivos (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

No primeiro ano fenológico, durante os meses de dias longos, na primeira fase formam-se os ramos vegetativos e gemas foliares. Na segunda fase, sob dias curtos, ocorre a indução, a maturação e a dormência das gemas florais (CAMARGO; FRANCO, 1985). As gemas vegetativas axilares são transformadas em gemas reprodutivas pelo fotoperiodismo (GOUVEIA, 1984). A indução de gemas foliares a gemas florais é potencializada com o encurtamento dos dias. Para que as gemas florais se tornem preparadas para a antese, estas passam por etapas como desenvolvimento, amadurecimento e então entram em dormência. Com o início das chuvas ou irrigação, as gemas dormentes têm o seu potencial hídrico aumentado e então a florada é estimulada (CAMARGO; FRANCO, 1985).

O segundo ano fenológico tem início com a florada. Em seguida ocorre a formação dos chumbinhos, expansão dos grãos, granação dos frutos e a maturação. A terceira fase começa com a florada, após um aumento do potencial hídrico nas gemas florais amadurecidas. A floração pode ser indeterminada se os cafeeiros receberem, nessa fase, água frequentemente. No entanto, quando é verificado um período de restrição hídrica e posteriormente chuva ou irrigação, uma florada principal ocorre (RENA; MAESTRI, 1985).

A morte dos tubos polínicos é causada pela desidratação, provocando o abortamento das flores, se a temperatura ambiente for elevada e associada a um intenso déficit hídrico durante o início da florada. Após a fecundação, ocorre o surgimento dos chumbinhos caracterizados por não apresentarem crescimento visível, seguido da expansão rápida dos frutos. A ocorrência de peneira baixa poderá ocorrer se houver estiagem forte nessa fase. Assim, o estresse hídrico poderá afetar o crescimento dos frutos (CAMARGO; CAMARGO, 2001; PEZZOPANE et al. 2003).



Gema dormente
Fase 2: jun - agosto



Gema intumescida
Fase 2: ago - set



Abotoado
Fase 3: ago - set



Florada
Fase 3: set - out



Pós-florada
Fase 3: set - out



Chumbinho
Fase 3: out - nov



Expansão dos frutos
Fase 3: nov-dez



Grão verde
Fase 4: jan - fev



Verde cana
Fase 4: fev - mar



Cereja
Fase 5: abr - maio



Passa
Fase 5: maio - jun



Seco
Fase 5: jun - jul

Figura 4. Escala de notas para o desenvolvimento fenológico do cafeeiro, classificação segundo Pezzopane et al. (2003)

A quarta fase é a de granação dos frutos, quando os líquidos no interior dos frutos se solidificam, formando os grãos. Ocorre em pleno verão e os períodos de seca severos nessa fase poderão resultar na produção de frutos mal granados e o chochamento dos grãos. Durante a quinta fase, ocorre a maturação dos frutos, e, nessa etapa, os déficits hídricos moderados aprimoram a qualidade do grão do cafeeiro. Por meio da classificação estabelecida por Pezzopane et al. (2003), os frutos passam por fases como chumbinho, expansão, verde, verde-cana, cereja e passa. A sexta fase, compõe a senescência dos ramos produtivos. Na primavera, início do segundo ano fenológico, brotam novos ramos vegetativos, que são transformados em reprodutivos, possibilitando nova produção, no entanto, inferior com relação ao ano anterior (CAMARGO; CAMARGO, 2001).

2.4 Cultivo de café no Cerrado

O Cerrado possui características únicas em relação aos aspectos físicos, bióticos, sociais e econômicos, sendo uma região de importância estratégica para os interesses do País no campo da segurança alimentar, agricultura ambientalmente sustentável e preservação da biodiversidade. O Cerrado apresenta condições biofísicas bastante heterogêneas e que, associadas a fatores históricos sociais, econômicos e tecnológicos, caracterizam a região como tendo uma elevada pluralidade em seu uso e ocupação. O bioma ocupa aproximadamente 24% do território nacional (204 milhões de hectares) e é considerado como a savana tropical mais rica do mundo em biodiversidade (fauna e flora). A região ainda possui nascentes de oito das doze bacias hidrográficas mais importantes do Brasil (SANO et al., 2009).

Além disso, é uma das regiões em que a agricultura brasileira mais se desenvolveu nas últimas décadas. A produção proveniente das culturas agrícolas anuais do Cerrado corresponde a 40% da produção total nacional e contribuiu para o aumento do valor da produção agrícola do País nas últimas quatro décadas (BOLFE et al., 2020). No entanto, os cultivos permanentes

também encontraram no Cerrado elementos importantes para sustentar a sua expansão nas últimas quatro décadas. As culturas permanentes que mais ocorrem no Cerrado são o café, a laranja, a seringueira, a banana, o limão e a manga (SANTANA et al., 2020).

Entre 1975 e 2015, o cultivo do café experimentou uma mudança importante na geografia da sua produção, deslocando-se espacialmente do eixo tradicional São Paulo e Paraná para em direção ao Espírito Santo e partes do Cerrado, especialmente para algumas microrregiões de Minas Gerais: Passos, Capelinha, Patrocínio, Patos de Minas, Araxá, Piuí, Paracatu e Unaí.

Em seguida, houve a migração para áreas do Cerrado situadas a 700 m de altitude, com água disponível para a irrigação, relevo suave ondulado que favorece a mecanização, solos com propriedades físico-hídricas que permitem o bom desenvolvimento das plantas e facilidade de fertilização com aporte de capital (mecanização, calcário e adubação em geral), tem alcançando produtividade e rendimento de grãos (BONOMO et al., 2008) com qualidade expressa em sabor e aroma muito apreciadas no país e no exterior (BARBOSA et al., 2012). Todas essas características favoráveis têm possibilitado a expansão da cafeicultura no bioma.

Os Latossolos predominam nessa região e compreendem aproximadamente 40% dos solos do Cerrado (REATTO et al., 2007). Os Latossolos são intemperizados e profundos, possuem boas condições físicas devido ao seu enriquecimento por óxidos de ferro e alumínio, que dão aspecto maciço e poroso ao solo, favorecendo a mecanização (RESENDE et al., 2007). São considerados como solos adequados para o cultivo do cafeeiro devido a sua profundidade, porosidade e drenagem, com uma estrutura granular de tamanho médio e moderadamente desenvolvida, o relevo permite a mecanização e a aplicação de práticas de conservação do solo (SEDIYAMA et al, 2001).

O clima da região é classificado como Aw, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al. 2013) com duas estações bem definidas (seca e chuvosa). A temperatura média anual é de 21°C e a precipitação pluviométrica média de 1.500 mm. Apesar do volume de chuvas considerável em grande parte do bioma, sua distribuição não é regular, com ocorrência frequente de veranicos, e com período seco prolongado, podendo variar de quatro a sete meses sem precipitação, entre abril e outubro (Figura 5). O Cerrado possui duas estações bem definidas, verão quente e úmido e inverno ameno e seco, as quais são importantes por favorecerem a produção de café de excelente qualidade de bebida com baixa acidez e sabor adocicado (FERNANDES et al., 2012).

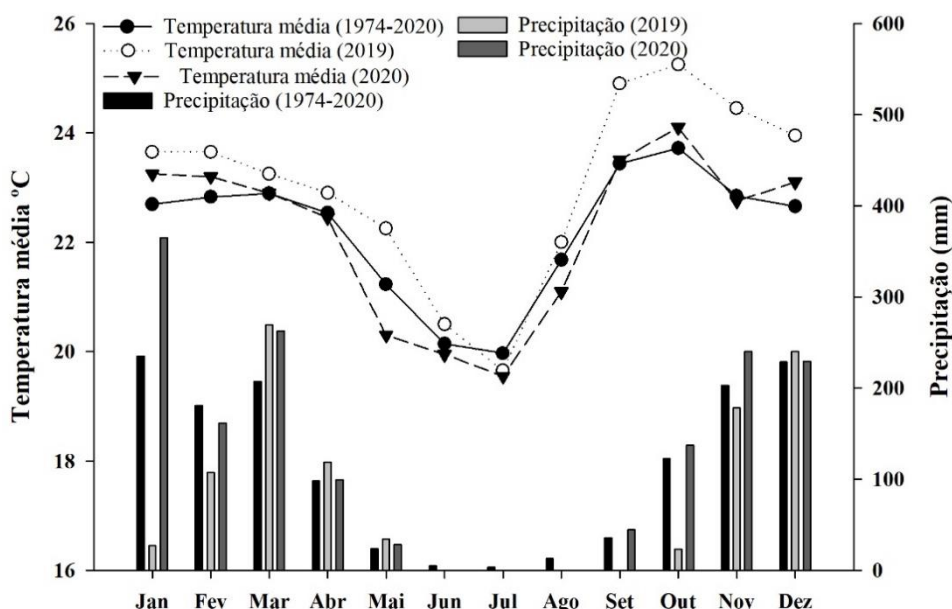


Figura 5. Valores médios mensais de precipitação e temperatura ao longo de 46 anos (1974-2020) observados na Estação Principal da Embrapa Cerrados.

Quanto à temperatura e ao déficit hídrico, as faixas de aptidão para o cultivo do cafeeiro arábica são de 18 a 23 °C e até 150 mm, respectivamente (SEDIYAMA et al., 2001), no entanto, por meio da irrigação, controlando o déficit hídrico, permitiu-se a expansão dessa cultura para áreas com temperaturas mais elevadas (ASSAD et al., 2004). Diante disso, para o cultivo do cafeeiro no Cerrado, faz-se necessária a irrigação para atender a demanda hídrica da cultura,

principalmente, a partir de agosto/setembro, quando se inicia um novo ciclo, nas ocorrências de veranicos e nos meses de abril a junho. Portanto, é comum a ausência de chuvas no período da colheita (junho a agosto), fato que favorece a obtenção de grãos de café de excelente qualidade (FERNANDES et al., 2012), pela floração uniforme e, conseqüente, maturação uniforme, com menor fermentação dos grãos devido à baixa umidade relativa do ar (FERNANDES et al., 2012).

A definição das estações climáticas, com verão quente e úmido e inverno ameno e seco (condições importantes para a produção de excelente qualidade de café), tem sido um grande trunfo do Cerrado. Essa condição climática ocorre pelo fato de o Cerrado estar em área continental, o que possibilita padrões de chuva diferentes dos que ocorrem em outras regiões produtoras de café, no Brasil, que sofrem influência direta das massas oceânicas. Em 2005, foi reconhecida como a primeira denominação geográfica de café do Brasil e do mundo, segundo normas da Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), ganhando, assim, status semelhante ao das mais famosas regiões produtoras de vinho (CAFÉ DO CERRADO, 2010).

2.5. Irrigação no cafeeiro

A água é o composto mais abundante em todas as células vegetais ativas, e a manutenção de um ambiente aquoso estável nas células é crucial para praticamente todos os processos fisiológicos em plantas terrestres (CHAVES, 1991). A atmosfera é a fonte de CO₂, necessário para a fotossíntese; no entanto, a atmosfera é geralmente bastante seca, levando a uma perda líquida de água por evaporação. Para atender às demandas de maximizar a absorção de CO₂ e minimizar a perda de água, as plantas enfrentam o desafio de equilibrar a perda de água das folhas e substituir a água perdida para a atmosfera pelo transporte de água principalmente do solo (XIONG; NADAL, 2020).

A taxa de perda de água das folhas ou transpiração é determinada principalmente pela difusão de vapor foliar e o déficit de pressão de vapor entre folha e atmosfera, e a eficiência do transporte de água através de toda a planta é definida como condutância hidráulica da planta. Embora as distâncias que a água deve percorrer dentro das folhas sejam pequenas em relação a todo o caminho solo-planta-atmosfera, as folhas constituem um gargalo para o transporte de água (SACK; HOLBROOK, 2006).

O cultivo do café ocorre na zona intertropical, devido às suas exigências de temperatura e umidade. Embora a produção de café seja fortemente afetada pelo déficit hídrico, uma porção significativa do café mundial tem sido cultivada em regiões propensas à seca, em que o uso de irrigação é a exceção (DA MATTA; RAMALHO, 2006; PINHEIRO et al., 2005). As mudanças climáticas representam outro fator limitante para a produção de café e são responsáveis pela perda de áreas adequadas para o cultivo de *C. arabica* e *C. canephora* em todo o mundo (BUNN et al., 2015). Em locais com o uso de irrigação para garantir safras adequadas, em algumas regiões, os cafeicultores têm enfrentado sérios problemas na disponibilidade de água, uma situação que deve ser agravada devido (i) a aumentos previstos na frequência e severidade dos episódios de seca e (ii) aumento das temperaturas que, por sua vez, devem aumentar a demanda evaporativa do ar e, assim, afetar a disponibilidade de água no solo (DA MATTA, 2018).

O uso da irrigação tem proporcionado o estabelecimento da cafeicultura em regiões consideradas marginais para o cultivo de café devido à precipitação pluvial ser bastante aquém das necessidades da cultura, com aumentos consideráveis de produtividade e qualidade da bebida obtida com a lavoura irrigada (FERNANDES et al., 2012). Em locais sem o suprimento complementar de água as plantas foram seriamente prejudicadas (FERNANDES et al., 2012).

O efeito da irrigação no crescimento vegetativo e na produção do cafeeiro e a melhoria na qualidade da sua produção são bem documentados na literatura, podendo-se, ainda, utilizar esta técnica como condicionante do florescimento e, portanto, da época de colheita (CAMARGO; PEREIRA, 1994). Pereira et al. (2014) citaram como influenciadores do desenvolvimento vegetativo, da produtividade e da qualidade final do café, fatores como a densidade de plantio e o suprimento das necessidades hídricas das plantas. Os autores avaliaram duas densidades de plantio, duas lâminas de irrigação e um tratamento sem irrigação em Lavras-MG e observaram maior altura e maior número de ramos plagiotrópicos por planta, influenciada tanto pelo maior adensamento como pelo uso das maiores lâminas de irrigação.

A utilização da água na agricultura deve ser pautada por práticas que promovam aumento da produtividade, melhoria da qualidade do produto colhido e com o uso adequado dos recursos naturais e financeiros (CRUZ et al., 2015). As práticas de manejo da irrigação devem ser adotadas de forma a evitar deficiência hídrica durante as fases de formação do fruto (MANTOVANI et al., 2006), garantindo retorno econômico pela quantidade e qualidade do café colhido (MANTOVANI; VICENTE, 2015).

Em razão das características climáticas do Cerrado vários produtores de café têm instalado sistemas de irrigação em suas lavouras, para minimizar os riscos de perda de safras por déficit hídrico (FERNANDES et al. 2012). A maioria das lavouras são irrigada sem interrupção durante o ano devido à má distribuição de chuva, assim como a ocorrência de período seco (~3–4 meses) durante a estação fria (DA MATTA et al., 2007). Entretanto, algumas pesquisas têm apontado que a irrigação contínua, sobretudo no período que antecede a florada, pode atrasar o desenvolvimento do botão floral, em relação a lavouras não irrigadas (DA MATTA et al., 2007; SILVA et al., 2009). Além disso, chuvas esporádicas e de baixa intensidade, geralmente próximas à primavera, fazem com que ocorram várias floradas, o que leva à desuniformidade na maturação dos frutos (DAMATTA et al., 2007).

Para minimizar esses problemas, a aplicação do déficit hídrico durante o inverno, em lavouras irrigadas, tem sido recomendada para a sincronização ou a concentração da florada (RONCHI et al., 2015). Essa técnica baseia-se em evidências de que o déficit hídrico é necessário para a quebra da dormência dos botões, no estágio E4, e que a irrigação (ou mesmo a chuva) após esse período causa antese, pelo rápido aumento na turgescência dos botões florais (GUERRA et al., 2005; BOMFIM NETO, 2007; SILVA et al., 2009).

Todos os botões de flores do café não entram neste estágio maduro ao mesmo tempo porque são iniciados em momentos diferentes; particularmente em áreas irrigadas com um período de seca definido (ou seja, sem chuvas esporádicas), a suspensão da irrigação leva a um déficit hídrico específico pouco antes de os primeiros botões de flores amadurecerem ou ficarem prontos para responder a estímulos externos e retomar o crescimento (RONCHI et al., 2015).

O déficit de água pode permitir que os botões de flores atrasados completem alguns eventos fisiológicos ou morfológicos que, em última análise, os tornam também sensíveis para perceber o estímulo para a regeneração (MES, 1957; REDDY, 1979; DRINNAN; MENZEL, 1994); se for imposto um déficit hídrico controlado, um número maior de botões de flores em todo o cafeeiro será capaz de responder a estímulos artificiais (por exemplo, irrigação) para a abertura das flores; e finalmente, como consequência deste tratamento de estresse hídrico controlado, a abertura será concentrada em um período principal de floração (DA MATTA et al., 2007). Isso significa que os nós dos ramos dos cafeeiros submetidos a déficit hídrico controlado apresentarão, após a retomada da irrigação, uma porcentagem maior de flores abertas em comparação com as de plantas continuamente irrigadas (DA MATTA et al., 2007).

Em regiões como a do Cerrado, em que ocorre uma estação seca bem definida na pré-florada, é possível que o déficit hídrico controlado, aplicado em momento e intensidades apropriadas nas lavouras irrigadas, contribua para a concentração da florada e, portanto, para a

uniformidade na maturação dos frutos (RONCHI et al., 2015). Com isso, espera-se uma melhor qualidade da bebida em áreas com maior percentual de frutos maduros no momento da colheita devido aos frutos colhidos antes do período ideal produzir uma bebida de qualidade inferior e não agrega valor ao produto (FAGAN et al., 2011).

Além disso, uma grande variação na uniformidade dos grãos no momento da colheita dos frutos leva a (i) um aumento do custo da produção de café, uma vez que mais de uma operação de colheita será necessária, o que também pode causar danos mecânicos aos cafeeiros; e (ii) uma qualidade de bebida prejudicada devido a uma baixa porcentagem de cerejas maduras em comparação com as cerejas verdes e secas, e um maior número de defeitos de grãos e controle ineficaz de patógenos e ataques de insetos aos frutos do café (RENA; BARROS, 2004).

2.6 Fisiologia do café

O cafeeiro tem baixas taxas de assimilação líquida de CO_2 (A), tipicamente na faixa de 4-11 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com a concentração atmosférica natural atual de CO_2 e luz saturante, que está na faixa mais baixa registrada para árvores (CEULEMANS; SAUGIER, 1993). Os valores de A foram calculados em média em 7,2 e 8,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, e condutância estomática máxima em 108 e 148 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, respectivamente para café arábica e conilon. Os baixos valores de A *in situ* têm sido associados a limitações difusivas (estomáticas e mesofílicas), em vez de bioquímicas, à fotossíntese (DA MATTA, 2003; CAVATTE et al., 2008).

A fotossíntese de cafeeiros cultivados em campo parece ser maior sob sol do que em folhas de sombra (DA MATTA, 2004). De qualquer forma, os estômatos normalmente fecham no início da manhã em cafeeiros, com condutância estomática atingindo valores tão baixos quanto 10-20 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ durante a tarde (RONQUIM et al., 2006; CHAVES et al., 2008; DA MATTA et al., 2008). Isso tem sido atribuído à forte sensibilidade estomática ao aumento

do déficit de pressão de vapor à medida que o dia avança (DA MATTA; RAMALHO, 2006), o que restringiria em grande parte o influxo de CO₂ nas folhas, limitando assim a fotossíntese, particularmente à tarde.

Um aspecto da fotossíntese muitas vezes negligenciado e pouco estudado diz respeito à contribuição dos frutos. Os frutos de café em desenvolvimento são verdes, possuem estômatos e podem representar 20-30% da superfície fotossintética total em árvores com grande porte (CANNELL, 1985) e de acordo VAAST et al. (2005) contribuir com cerca de 12% para suas necessidades totais de carbono no estágio de enchimento dos grãos.

A produção da cultura do café está confinada à zona intertropical, que se estende de uma latitude de 20-25° N no Havaí a 24° S no Brasil. Dentro dessa zona, a quantidade e distribuição das chuvas, temperatura, insolação e CO₂ e as interações entre essas condições são os principais fatores ambientais que afetam o crescimento e a produção do café (DA MATTA et al., 2018). Notavelmente, os eventos de estiagem são a principal limitação climática para a cultura de *C. arabica*, pois reduzem gradativamente a disponibilidade de água no solo (gerando déficit hídrico), afetando processos fisiológicos importantes nas plantas (DIAS et al., 2007 ; DUBBERSTEIN et al., 2020; SOUZA et al., 2020; ALMEIDA et al., 2021). Essa situação é preocupante em áreas cultivadas com café, principalmente em regiões suscetíveis à seca, onde o uso da irrigação é limitado devido à pouca disponibilidade de água (DAMATTA et al., 2018; AVILA et al., 2020)

A região de origem do *C. arabica* e particularmente a de *C. canephora* são caracterizadas por condições de déficit hídrico relativamente baixo (BERTHAUD; CHARRIER, 1998). No entanto, praticamente todas as cultivares modernas são descendentes das primeiras introduções de café da Etiópia à Arábia (Iêmen), onde foram submetidas a um ecossistema relativamente seco e sem sombra por mil anos antes de serem introduzidas na Ásia e na América Latina (VAN DER VOSSSEN et al., 1985). A maioria dessas cultivares pode

tolerar seca leve e luz solar plena, sugerindo que as cultivares modernas são significativamente diferentes de seus parentes selvagens em termos de tolerância à seca (DA MATTA et al., 2018).

Do ponto de vista ecofisiológico, cultivares de café tolerantes à seca são capazes de sustentar um melhor estado hídrico do que suas contrapartes sensíveis à seca durante períodos de seca de longo prazo, o que tem sido atribuído a uma combinação de enraizamento profundo e controle eficiente da transpiração pela condutância estomática (PINHEIRO et al., 2005), bem como mecanismos de dissipação térmica, fotoproteção como a atividade de antioxidantes (RAMALHO et al., 2018; DUBBERSTEIN et al., 2020). Todos esses mecanismos promovem melhor desempenho fisiológico do cafeeiro, preservando a maquinaria fotossintética, a eficiência fotoquímica e a condutância hidráulica das plantas em condições de déficit hídrico (LEÓN-BURGOS et al., 2022).

As condições prolongadas de déficit hídrico do solo são um dos fatores mais limitantes para os processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos associados à absorção de nutrientes e água, bem como à fotossíntese e ao metabolismo do carbono nas plantas (RAMALHO et al., 2018; SOUZA et al., 2020; SUN et al., 2020; SEMEDO et al., 2021).

Acredita-se muitas vezes que os efeitos da seca são intensificados sob condições de plena luz solar (DA MATTA et al., 2018), pois o fechamento estomático induzido pela seca diminui a disponibilidade de CO₂ para a ribulose-1,5-bifosfato carboxilase/oxigenase (RuBisCO) e, dado que a redução de CO₂ é o principal sumidouro de energia fotoquímica, causa um excesso de energia nos cloroplastos (RAMALHO et al., 2013; MATOS et al., 2009). Como os períodos de estiagem são frequentemente acompanhados de alta irradiância, um nível de energia proporcionalmente maior estará disponível para produzir altos níveis de EROs, o que pode potencialmente aumentar o estresse oxidativo e prejudicar o desempenho fisiológico e agrônômico da planta (DA MATTA et al., 2018).

O estresse hídrico prejudica o cafeeiro em todas as fases de seu ciclo de crescimento, mas são muito mais pronunciados durante a fase de enchimento dos grãos (DA MATTA et al., 2018). A escassez de água muitas vezes reduz o crescimento dos frutos (DANCER, 1964; CANNELL, 1971), pois os óvulos não atingem seu potencial tamanho real sob água limitante (CANNELL, 1974). Além disso, nesta fase, há um forte desequilíbrio de carbono entre a produção de fotoassimilados (devido à diminuição geral de assimilação de carbono e área foliar total) e os requisitos de fotoassimilados (porque os frutos são os drenos mais fortes e prioritários para os assimilados do café) (DA MATTA; RAMALHO, 2006).

Como regra, as deficiências induzidas pela seca são exacerbadas à medida que a carga de frutas aumenta. Como consequência, ocorrem a desfolha intensa, morte de galhos e frutos malformados são geralmente observados sob seca com consequências negativas na qualidade da copa (DA MATTA et al., 2018). Nessas condições, o sombreamento pode minimizar essas consequências negativas, principalmente por diminuir a carga de frutos e melhorar o microclima dentro do dossel do café (OLIOSI et al., 2016; RODRÍGUEZ-LOPES et al., 2014) em última análise, evitando a degeneração da árvore (DA MATTA et al., 2018).

2.7 Viabilidade econômica do café

A cafeicultura irrigada exige alto investimento em obras, aquisição de equipamentos, controle e distribuição de água, energia e mão de obra para operação do sistema e esses custos adicionais devem ser pagos pelo incremento de produtividade proporcionado pela irrigação (SILVA, 2003). Com isso, a irrigação é uma tecnologia que requer investimentos significativos e está associada à utilização intensiva de insumos, tornando importante a análise econômica dos componentes envolvidos no sistema (SILVA, 2003).

Deste modo, para que a implementação dos sistemas de irrigação seja economicamente viável, é necessário que os benefícios gerados com o uso da irrigação sejam positivos e superem

os retornos provenientes da cafeicultura não irrigada, ou seja, que o ganho monetário pela elevação da produtividade compense a elevação do custo de produção ocasionada pela implantação e operacionalização dos sistemas de irrigação (ARÊDES et al., 2007). Nesse sentido, justifica-se a análise da viabilidade econômica da utilização das alternativas tecnológicas de produção de café com os sistemas de irrigação do cafeeiro, uma vez que, com adoção das técnicas de irrigação, espera-se a elevação da rentabilidade gerada a partir da utilização desses sistemas (ARÊDES et al., 2007).

Para elaborar a análise financeira de um projeto, é necessário, primeiramente, projetar o montante de investimento mínimo, os custos e despesas previstas e as receitas estimadas. Desse modo, o planejamento financeiro-econômico de uma atividade agrícola geralmente precede a implantação do projeto e, com base na realidade e no contexto socioeconômico nos quais a atividade está inserida, deverá permitir estimar os gastos inerentes às atividades, as receitas esperadas com isso e, sobretudo, prever o retorno financeiro do investimento aplicado nessa atividade (SOUZA, 2000; ARÊDES et al., 2007).

Os indicadores de viabilidade servem para subsidiar a tomada de decisão acerca de investimentos em novos projetos ou na expansão de um já existente. Os índices econômicos permitem indicar o grau de sustentabilidade e rentabilidade das atividades ao longo do tempo, pois devem estimar os resultados possíveis de serem alcançados, bem como os riscos inerentes ao processo (BORDEAUX-RÊGO et al., 2006).

Na elaboração de um projeto, a construção correta de um fluxo de caixa é uma das etapas mais importantes, uma vez que os indicadores econômicos de viabilidade derivam desse fluxo (GOES et. al, 2018). Os fluxos de caixa são valores monetários que representam as saídas e entradas dos recursos e produtos por unidade de tempo, compondo um projeto de investimento. Estes são formados por fluxos de entrada (receitas efetivas) e fluxos de saída

(dispêndios efetivos ou custos), cuja diferença é denominada de fluxo líquido (NORONHA, 1987).

Para avaliar a rentabilidade e a viabilidade econômica, a partir do fluxo de caixa, utilizam-se indicadores de viabilidade econômica, ou seja, resultados de cálculos que indicam se um projeto é rentável, lucrativo e se compensa em relação a outras alternativas. Destacam-se o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Benefício Periódico Equivalente (BPE).

Conceitualmente, o Valor Presente Líquido (VPL) consiste em transferir para o momento atual todas as variações de caixa esperadas, descontá-las a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente (GOES et. al, 2018). Quando o VPL é maior que zero, o projeto é viável. Se o VPL é menor que zero, o projeto é inviável. Caso o VPL seja igual a zero, a decisão de investir no projeto é neutra. Quanto maior seu valor, mais interessante é o projeto do ponto de vista econômico (GOES et. al, 2018).

Dessa forma, pode-se converter para valores monetários atuais tanto as saídas quanto entradas de caixa. Outra forma de conceituar o VPL é considerando-o como a diferença entre o valor presente das receitas e o valor presente dos custos (SILVA et al., 2012). Para Silva et al. (2012), a TIR é a taxa de desconto que iguala o valor presente das receitas ao valor presente dos custos, ou seja, iguala o VPL a zero. Além disso, a TIR pode, também, ser entendida como a taxa percentual do retorno do capital investido. O VPL é igual a zero quando as grandezas futuras, ao serem descontadas com uma determinada taxa, produzem um valor presente para o fluxo de caixa que é igual ao investimento inicial (desembolso) colocado no ponto zero da escala do tempo (PUCCINI, 2007).

O BPE é o VPL dividido em parcelas anuais e nos dá o rendimento líquido anual do projeto. É interessante utilizar o BPE para projetos com um longo horizontes de planejamento. A TIR é, posteriormente, comparada com a taxa mínima de atratividade (TMA), que representa

o custo de oportunidade do capital investido do projeto, a fim de verificar o desempenho dele. Caso a TIR seja maior que a TMA, o investimento é atrativo. Se ambas as taxas forem iguais, o investimento está economicamente numa situação de indiferença. E se a TIR for menor, o investimento é inviável (GOES et. al, 2018).

A Taxa Mínima de atratividade (TMA) é uma taxa de juros que representa o percentual mínimo que um investidor se propõe a ganhar ou ao máximo que um indivíduo se propõe a pagar ao realizar um financiamento. A TMA é estimada nas principais taxas de juros praticada pelo mercado, como a Taxa Básica Financeira (TMF), Taxa Referencial (TR), Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC) (GOES et. al, 2018).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, W.L.; AVILA, R.T.; PÉREZ-MOLINA, J.P.; BARBOSA, M.L.; MARÇAL, D.M.S.; DE SOUZA, R.P.B.; MARTINO, P.B.; CARDOSO, A.A.; MARTINS, S.C.V.; DAMATTA, F.M. The interplay between irrigation and fruiting on branch growth and mortality, gas exchange and water relations of coffee trees. **Tree Physiology**, v. 41, n.1, p. 35–49, 2021.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ARÊDES, A. F. D., SANTOS, M. L. D., RUFINO, J. L. D. S., REIS, B. D. S. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa-MG, **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 2, p. 207-226, 2007.
- 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**, v.39, n.11, p.1057-1064, 2004.

AVILA, R.T.; CARDOSO, A.A.; DE ALMEIDA, W.L.; COSTA, L.C.; MACHADO, K.L.G.; BARBOSA, M.L.; DE SOUZA, R.P.B.; OLIVEIRA, L.A.; BATISTA, D.S.; MARTINS, S.C.V.; RAMALHO, J.D.C.; DAMATTA, F.M. Coffee plants respond to drought and elevated [CO₂] through changes in stomatal function, plant hydraulic conductance, and aquaporin expression. **Environmental and Experimental Botany**, v. 177, p. 104148, 2020.

BATISTA, K. D.; ARAÚJO, W. L.; ANTUNES, W. C.; CAVATTE, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; MARTINS, S. C. V.; DAMATTA, F. M. Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. **Trees** 2012, v. 26, n. 2, p. 459– 468.

BARBOSA, J. N.; BOREM F. M.; CIRILLO, M. A.; MALTA, M. R.; ALVARENGA, A. A.; ALVES, H. M. R. Coffee quality and its interactions with environmental factors in Minas Gerais, Brazil. **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n.5, p. 181-190, 2012.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resources of *Coffea*. In: **Coffee: Agronomy**; CLARKE, R. J., MACRAE, R., (Ed.). London, U.K: Elsevier Applied Science, 1988. P. 1– 42.

BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. 1.ed. Brasília, DF: Embrapa, 2020.

BOMFIM NETO, Hermes. **Influência do déficit hídrico na floração do cafeeiro arábico, monitorado pelo desenvolvimento do botão floral e potencial hídrico da planta**. 2007. 36p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

BONOMO, R.; OLIVEIRA, L.F.C.; SILVEIRA NETO, A.N.; BONOMO, P. Produtividade de cafeeiros arábica irrigados no cerrado goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 38, n. 4, p. 233-240, 2008.

BORDEAUX-REGO, R.; PAULO, G. P.; SPRITZER, I. M. P.; ZOTES, L. P. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro, Editora FGV, 2006.

BRIDSON, Diane M. Studies in *Coffea* and *Psilanthus* (Rubiaceae subfam. Cinchonoideae) for Part 2 of 'Flora of Tropical East Africa': Rubiaceae. **Kew bulletin**, v.36, n.4, p. 817-859, 1982.

CAFÉ DO CERRADO. **Cerrado mineiro: a primeira denominação geográfica para café**. 2020. Disponível em: Acesso em: 15 out. 2020

- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro Arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.
- CAMARGO, A. P.; PEREIRA, A. R. P. **Agrometeorology of coffee crop**. Geneve: World Meteorological Organization, 1994.
- CAMARGO, A. P.; FRANCO, C.F. **Clima e fenologia do cafeeiro**. In: Cultura de café no Brasil: manual de recomendações. 5.ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, Ministério da Indústria e Comércio, p.19-50, 1985.
- CANNELL, M.G.R (1971) Seasonal patterns of Arabica coffee growth and development in Kenya. Part IV. **Kenya Coffee**, v. 36, n. 1, 175-180, 1971.
- CANNELL, M. G. Physiology of coffee culture. In: CLIFFORD, M. N., WILLSON, K. C (Ed.). **Café - Coffee - Botany, Biochemistry and Grain and Beverage Production**, London, U.K: Crom Helm, 1985. p.108-134.
- CARVALHO, A.; MONACO, L. C. Transferência do fator caturra para o cultivar Mundo Novo de *Coffea arabica*. **Bragantia**, v. 31, n. 1, p. 379-399, 1972.
- CAVATTE, P. C.; MARTINS, S. C. V.; WOLFGRAMM, R. DAMATTA, F. M (2008) Respostas fisiológicas de dois genótipos de café (*Coffea canephora*) ao déficit hídrico do solo. In: SANCHEZ, J. M. (Ed.). **Secas: Causas, Efeitos e Previsões**. New York: Nova Science Publishers, 2009. p. 306-330.
- CEULEMANS, R. SAUGIER, B. Photosynthesis. In: RAGHAVENDRA, A. S (Ed.). **Physiology of Trees**, Nova York: John Wiley & Sons, 1993. p. 21-50.
- CHAVES, A. R. M.; TEN-CATEN, A.; PINHEIRO, H. A.; RIBEIRO, A.; DAMATTA, F. M. Seasonal changes in photoprotective mechanisms of leaves from shaded and unshaded field-grown coffee (*Coffea arabica* L.) trees. **Trees**, v. 22, n. 3, p. 351-361, 2008.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**, v.9 - Safra 2019, n.1 - Primeiro Levantamento, Brasília, p.1-62, janeiro 2019.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira: café**, v.6 - Safra 2022, n.2 - Segundo Levantamento, Brasília, p.1-60, maio 2022.
- CHAVES, M. M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of experimental Botany**, v. 42, n. 1, p. 1-16, 1991.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; CARVALHO, L. A. DE; ROCHA, G.C. Balanço de água no volume de solo explorado pelo sistema radicular de uma planta de citros. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n.1, p. 1-10, 2005.

DA MATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C.; RAMALHO, J. C. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.

DA MATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Coffee: Environment and Crop Physiology. In **Ecophysiology of Tropical Tree Crops**; DA MATTA, F. M., (Ed.). New York: Nova Science Publishers, 2010a. p. 181– 216.

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, 2010b.

DA MATTA, F. M.; CUNHA, R. L.; ANTUNES, W. C.; MARTINS, S. C. V.; ARAUJO W. L. FERNIE, A. R. MORAES, G. A. B. K. In field-grown coffee trees source to-sink manipulation alters photosynthesis rates, independently of carbon metabolism, via alterations in stomatal function. **New Phytologist**, v. 178, n. 2, p. 348-357, 2008.

DA MATTA, F.M.; RONCHI, C.P.; MAESTRI, M.; BARROS, R.S. Ecophysiology of coffee growth and production. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.19, n.1, p.485-510, 2007.

DA MATTA, 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.

DA MATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field crops research**, v. 86, n. 2-3, p. 99-114, 2004.

DA MATTA, F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: HEMANTARANJAN, A. (Ed.). **Advances in Plant Physiology**, Jodhpur, Índia: Scientific Publishers, 2003a. p. 227-265.

DA MATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**. 2003b, 164, 111– 117.

DANCER, J. The growth of the cherry of Robusta coffee: I. Weight changes correlated with water availability during development. **New Phytologist**, v. 63, n. 1, p. 34-38, 1964.

DIAS, P.C.; ARAUJO, W.L.; MORAES, G.A.B.K.; BARROS, R.S.; DAMATTA, F.M. Morphological and physiological responses of two coffee progenies to soil water availability. **Journal Plant Physiology**, v.164, n.12, 1639–1647, 2007.

DUBBERSTEIN, D.; LIDON, F.C.; RODRIGUES, A.P.; SEMEDO, J.N.; MARQUES, I.; RODRIGUES, W.P.; GOUVEIA, D.; ARMENGAUD, J.; SEMEDO, M.C.; MARTINS, S.; SIMOES-COSTA, M.C.; MOURA, I.; PAIS, I.P.; SCOTTI-CAMPOS, P.; PARTELLI, F.L.; CAMPOSTRINI, E.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.C. Resilient and sensitive key points of the photosynthetic machinery of coffeea spp. to the single and superimposed exposure to severe drought and heat stresses. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1049, 2020.

DRINNAN, J. E.; MENZEL, C. M. Synchronization of anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. **Journal of Horticultural Science**, v. 69, n. 5, p. 841-849, 1994.

FAGAN, E. B.; SOUZA, C. H. E. D.; PEREIRA, N. M. B.; MACHADO, V. J. Efeito do tempo de formação do grão de café (*Coffea* sp) na qualidade da bebida. **Bioscience journal** (Online), p. 729-738, 2011.

FAZUOLI, Luiz Carlos. Pré-melhoramento do café. Pré-melhoramento de plantas. Empresa de Pesquisa Agropecuária ed. Brasília, DF: Embrapa, 2006. p. 614.

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

GOES, T. B.; CHINELATO, G. A. Viabilidade econômico-financeira da cultura do café arábica na região da Alta Mogiana. **Revista IPEcege**, v. 4, n. 4, p. 31-39, 2018.

GOUVEIA, N. M. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de *Coffea arabica* L.: observações sobre antese e maturação dos frutos**. 1984. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, 1984.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C. Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.65, n. 66, p.42-45, 2005.

- HAWKESFORD, M. J.; LORENCE, A. Plant phenotyping: increasing throughput and precision at multiple scales. **Functional Plant Biology**, v. 44, n. 1, p. v-vii, 2016.
- IBGE, 2020. Censos Agropecuários (2012–2017). Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>. Acesso em: 3 Agosto de 2019.
- LASHERMES, P.; HUEBER, Y.; COMBES, M. C.; SEVERAC, D.; DEREPPER, A. Inter-genomic DNA Exchanges and Homeologous Gene Silencing Shaped the Nascent Allopolyploid Coffee Genome (*Coffea arabica* L.). **G3: Genes, Genomes, Genetics**, v. 6, n. 9, p. 2937–2948, 2016.
- LEÓN-BURGOS, A. F.; UNIGARRO, C.; BALAGUERA-LÓPEZ, H. E. Can prolonged conditions of water deficit alter photosynthetic performance and water relations of coffee plants in central-west Colombian? **South African Journal of Botany**, v. 149, p. 366-375, 2022.
- MATOS, F. S.; WOLFGRAMM, R.; CAVATTE, P. C.; VILLELA, F. G.; VENTRELLA, M. C.; DAMATTA, F. M. Phenotypic plasticity in response to light in the coffee tree. **Environmental and Experimental Botany**, v. 67, n. 2, p. 421-427, 2009.
- MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R. Manejo da Irrigação. In: SAKYIAMA, N.; MARTINEZ, H.; TOMAZ, M.; BORÉM, A. (Ed.). **Café arábica: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2015. p. 174-195.
- MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; ALVES, M. E. B.; NETO, H. B; Irrigação como fator de qualidade do café. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2006. p. 117-165.
- MATIELLO, J. B. *et al.* **Cultura de café no Brasil: manual de recomendações**. Varginha, MG: Fundação Procafé, 2010.
- MEINZER, F. C.; SALIENDRA, N. Z.; CRISOSTO, C. H. Carbon isotope discrimination and gas exchange in *Coffea arabica* during adjustment in different soil moisture regimes. **Functional Plant Biology**, v. 19, n. 2, p. 171-184, 1992.
- MENEZES-SILVA, P. E.; SANGLARD, L. M.; ÁVILA, R. T.; MORAIS, L. E.; MARTINS, S. C.; NOBRES, P.; DAMATTA, F. M. Photosynthetic and metabolic acclimation to repeated drought events play key roles in drought tolerance in coffee. **Journal of Experimental Botany**, v. 68, n. 15, p. 4309-4322, 2017.

- MES, M. G (1957) Studies on the flowering of *Coffea arabica* L. III. Various phenomena associated with the dormancy of coffee flower buds. **Portugaliae Acta Biologica**, v. 5, n. 1, p. 25-44, 1957.
- NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. São Paulo, Editora Atlas, 1987.
- OLIOSI, G.; GILES, J. A. D.; RODRIGUES, W. P.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Microclimate and development of *Coffea canephora* cv. Conilon under different shading levels promoted by Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. Australis). **Australian Journal Crop Science**. v. 10, n. 4, p. 528-538, 2016.
- PEREIRA, A. A.; MORAIS, A. R.; SCALCO, M. S.; FERNANDES, T. J. Descrição do crescimento vegetativo do cafeeiro cultivar Rubi MG 1192, utilizando modelos de regressão. **Coffee Science**, v. 9, n. 2, p. 266-274, 2014.
- PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; THOMAZIELLO, R. A.; CAMARGO, M. B. P. D.; Escala para avaliação de estádios fenológicos do cafeeiro Arábica. **Bragantia, Campinas**, v. 62, n. 3, p. 499-505, 2003.
- 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.
- PUCCINI, A. L. **Matemática financeira: Objetiva e aplicada**. São Paulo, Editora Saraiva, 2004.
- RAMALHO, J.C.; RODRIGUES, A.P.; LIDON, F.C.; MARQUES, L.M.C.; LEITAO, A.E.; FORTUNATO, A.S.; PAIS, I.P.; SILVA, M.J.; SCOTTI-CAMPOS, P.; LOPES, A.; REBOREDO, F.H.; RIBEIRO-BARROS, A.I. Stress cross-response of the antioxidative system promoted by superimposed drought and cold conditions in *Coffea* spp. **PLoS One**, v. 13, n. 6, p. e0198694, 2018.
- RAMALHO, José., et al. Sustained photosynthetic performance of *Coffea* spp. under long-term enhanced [CO₂]. **PLoS One**, v. 8, n. 12, p. e82712, 2013.
- REATTO, A. et al. Solos do bioma Cerrado: aspectos pedológicos. In: SANO, S. M. et al. (Eds.). **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Cerrados e Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 107-149.

- REDDY, A. G. S. Quiescence of coffee flower buds and observations on the influence of temperature and humidity on its release. **Journal of Coffee Research**, v. 9, n. 1, p. 1-13, 1979.
- RENA, A. B.; BARROS, R. S. Aspectos críticos no estudo da floração do café. In: ZAMLOLIM, L. (Ed.). **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa, MG: UFV, 2004. p.149-172.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. (Eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, SP: Potafos, 1986. p. 13-85.
- RESENDE, M. *et al.* **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 4. ed. Viçosa, MG: NEPUT, 2002.
- RODRÍGUEZ-LÓPEZ, NELSON F. et al. Morphological and physiological acclimations of coffee seedlings to growth over a range of fixed or changing light supplies. **Environmental and experimental botany**, v. 102, p. 1-10, 2014.
- RONCHI, C. P.; Araújo, F. C. D.; Almeida, W. L. D.; Silva, M. A. A. D.; Magalhães, C. E. D. O.; Oliveira, L. B. D.; Drumond, L. C. D.. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n.1, p. 24-32, 2015.
- RONQUIM, J.C.; PRADO, C. H. B. A.; NOVAES, P.; FAHL, J. I.; RONQUIM, C. C. Carbon gain in *Coffea arabica* during clear and cloudy days in the wet season. **Experimental Agriculture**, v. 42, n. 2, p. 147-164, 2006.
- SAKIYAMA, N. S.; PICOLI, E. A. D. T.; OLIVEIRA, A. C. B. D.; CAIXETA, E. T.; ZAMBOLIM, L.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, A. A. L. Triple plagiotropic branch in coffee: a new promising mutant? **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n.1, p. 408-411, 2017.
- SANO, E. E.; ROSA R.; BRITO, J. L.; FERREIRA L. G. Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 166, n. 1, p. 113-124, 2010.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G.; BEZERRA, H. D. S. Mapeamento da Cobertura vegetal natural e antropica do bioma Cerrado por meio de imagens Landsat. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **Anais (...)** Natal: INPE, 2009, p. 1199-1206.

SEDIYAMA, G.C. MELO JUNIOR, J.C.F; SANTOS, A.R.; RIBEIRO, A.; COSTA, M.H.; HAMAKAWA, P.J.; COSTA, J.M.N.; COSTA, L.C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.3, p.501-509, 2001.

SEMEDO, J.N.; RODRIGUES, A.P.; LIDON, F.C.; PAIS, I.P.; MARQUES, I.; GOUVEIA, D.; ARMENGAUD, J.; SILVA, M.J.; MARTINS, S.; SEMEDO, M.C.; DUBBERSTEIN, D.; PARTELLI, F.L.; REBOREDO, F.H.; SCOTTI-CAMPOS, P.; RIBEIRO-BARROS, A.I.; DAMATTA, F.M.; RAMALHO, J.C. Intrinsic non-stomatal resilience to drought of the photosynthetic apparatus in *Coffea* spp. Is strengthened by elevated air [CO₂]. **Tree Physiology**, v. 41, n. 5, p. 708–727, 2021.

SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A.; VALVERDE, S. R. **Economia florestal**. 2 ed. Viçosa - UFV, 2012. 178 p.

SILVA, E.A.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C. M. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, n.1, 1678-4499, 2009.

SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 34-74, 2003.

DE SOUZA, B.P.; MARTINEZ, H.E.P.; DE CARVALHO, F.P.; LOUREIRO, M.E.; STURIAO, W.P. Gas ~ exchanges and chlorophyll fluorescence of young coffee plants submitted to water and nitrogen stresses. **Jounal Plant Nutrition**, v. 43 n. 16, p. 2455–2465, 2020.

SOUZA, J. S. Custos de produção e receitas esperadas. In: TRINDADE, A. V. (Org.). **Mamão produção: aspectos técnicos**. Cruz das Alma, BA: Embrapa Mandioca e Fruticultura; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2000. p. 77.

SUN, Y.; WANG, C.; CHEN, H.Y.H.; RUAN, H. Response of Plants to Water deficit: A Meta-Analysis. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 978, 2020.

TEKETAY, Demel. History, botany and ecological requirements of coffee. **Walia**, v. 1998, n. 20, p. 28-50, 1998.

VAAST, P.; ANGRAND, J.; FRANCK, N.; DAUZAT, J.; GÉNARD, M. Fruit load and branch ring-barking affect carbon allocation and photosynthesis of leaf and fruit of *Coffea arabica* in the field. **Tree physiology**, v. 25, n. 6, p. 753-760, 2005.

VAN DER VOSSSEN, H. A. M. Coffee selection and breeding. In: CLIFFORD, M. N., WILLSON, K. C., **Coffee - Botany, Biochemistry and Production of Beans and Beverage**. (Eds.). London, England: Crom Helm, 1985. P. 48– 96.

XIONG, D.; NADAL, M. Linking water relations and hydraulics with photosynthesis. **The Plant Journal**, v. 101, n. 4, p. 800-815, 2020

CAPÍTULO I

ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS DO CAFÉ ARÁBICA SOB DIFERENTES INTENSIDADES E DURAÇÕES DE ESTRESSE HÍDRICO NO CERRADO BRASILEIRO

RESUMO

Os cafeicultores do Cerrado têm enfrentado sérios problemas devido ao aumento da frequência dos episódios de seca. Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar as respostas a diferentes níveis e durações de déficit hídrico em genótipos de café arábica no Cerrado. O experimento foi composto por três genótipos de *Coffea arabica* e cinco regimes hídricos: irrigação plena (IP 100 e IP 50 - irrigação plena com 100% e 50% de reposição da evapotranspiração, respectivamente), deficiência hídrica (DH 100 e DH 50 - deficiência hídrica de junho a setembro, com reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente) e sequeiro. Dentro de cada experimento, utilizou-se blocos casualizados com quatro repetições e para utilização do regime hídrico como fonte de variação foi feita a análise conjunta de grupo de experimentos. As variáveis avaliadas foram trocas gasosas, conteúdo relativo de água (CRA) e produtividade. Durante o estresse hídrico, as plantas sob o regime hídrico IP apresentaram maiores trocas gasosas e CRA, diferentemente do que ocorreu nos tratamentos DH e sequeiro; no entanto, após a irrigação, as plantas de café sob DH 100 e 50 recuperaram seu potencial fotossintético. Plantas de sequeiro e DH 50 tiveram uma redução de mais de 50% no CRA em comparação com IPs. O Iapar 59 e o E237 foram os genótipos de maior e menor produtividade, respectivamente. Sob condições de sequeiro, as plantas apresentaram menor potencial fisiológico e produtivo, indicando a importância da irrigação em *Coffea arabica* no Cerrado brasileiro.

Palavras chaves: genótipos, fisiologia do café, seca.

3.1.INTRODUÇÃO

O café, uma espécie arbórea, tropical perene, é uma commodity agrícola comercializada globalmente e responsável pela subsistência de 25 milhões de pequenos agricultores, constituindo a base econômica de países tropicais em desenvolvimento (DA MATTA et al., 2018). É um dos produtos agrícolas mais importantes do mercado internacional, cultivado em diferentes latitudes ao redor do mundo, mas sua distribuição depende de muitos fatores climáticos como localização, tipos de solo, sombreamento e práticas de manejo (WINTGENS, 2015).

No Brasil, o café arábica foi cultivado inicialmente e desenvolvido em regiões sem déficit hídrico em períodos críticos da safra. Com a expansão da agricultura em áreas de Cerrado e por meio da irrigação, controlando o déficit hídrico, permitiu-se a expansão dessa cultura para áreas com temperaturas mais elevadas, como a região do Triângulo e a região nordeste de Minas Gerais, oeste da Bahia, estado de Goiás e Distrito Federal (VEIGA et al., 2019). Atualmente, o Brasil é o maior produtor de *C. arabica* e *C. robusta* do mundo. No entanto, estudos preveem que as mudanças climáticas reduzirão substancialmente a quantidade de área aptas ao cultivo desta cultura devido a um aumento na temperatura e diminuição das precipitações (ZULLO et al 2006; MAGRACH et al. 2015).

A seca é o principal estresse ambiental que afeta a produção de café, provocando quedas de produtividade, de até 80% em anos muito secos e/ ou em regiões marginais sem irrigação (DA MATTA et al., 2010). Demonstra-se que a técnica de estresse hídrico controlado em cafeeiros irrigados no período de floração padroniza a floração e gera maior produção de café em cereja, e assim gera um aumento potencial para produção de cafés especiais, que possuem melhor preço no mercado (SILVA et al., 2009). Portanto, identificar e compreender

os mecanismos fisiológicos que protegem a planta durante o estresse hídrico e aceleram a recuperação do estresse associado ao uso dessas informações no processo de seleção de genótipos são de extrema importância, pois a capacidade das plantas de recuperar o funcionamento fisiológico após o início da irrigação representa o ponto chave da resiliência das plantas à seca.

O estresse hídrico tem múltiplos efeitos na fisiologia e desenvolvimento da planta que podem resultar em redução da produtividade. A absorção de água e a geração de pressão de turgescência são necessárias para a expansão e divisão celular; portanto, o déficit hídrico reduz diretamente o crescimento do órgão à medida que o potencial hídrico foliar e o conteúdo relativo de água diminuem. As plantas normalmente respondem ao estresse hídrico fechando seus estômatos para reduzir a transpiração, diminuindo a entrada de CO₂ nas folhas e, conseqüentemente, a fotossíntese também, resultando em reduções na fixação de carbono e na produção do fotossintato necessário para o crescimento vegetativo e reprodutivo (BHUSAL et al., 2019).

A redução da transpiração tende a aumentar a temperatura da folha, o que pode resultar em danos ao aparelho fotossintético, e pode ocorrer o estresse oxidativo devido à produção de espécies reativas de oxigênio. O transporte de água do xilema também pode ser afetado, pois os baixos potenciais hídricos resultam em cavitação e dificuldade no transporte de água das raízes para as folhas (BHUSAL et al., 2020). Além disso, podem ocorrer efeitos específicos do déficit hídrico no desenvolvimento, incluindo o aborto de flores e embriões, alterações na época de floração e perda de folhas.

Embora resulte em diminuição da fotossíntese, o fechamento estomático representa um mecanismo importante na tolerância das plantas ao déficit hídrico. Genótipos que apresentam rápido fechamento estomático em resposta à baixa disponibilidade hídrica do solo, que podem

ser avaliados por meio da condutância estomática (g_s), podem apresentar melhor eficiência no uso da água e menos sintomas de estresse com a manutenção do turgor celular (BRITO et al., 2019). De fato, o controle estomático parece ser um fator importante na determinação da tolerância ao estresse hídrico no café (DA MATTA; RAMALHO, 2006). Nas células, o acúmulo de osmólitos, incluindo açúcares e íons inorgânicos, pode ajudar a manter o estado da água e o turgor, além de proteger proteínas, ácidos nucleicos e membranas. A síntese de proteínas e metabólitos antioxidantes pode reduzir a gravidade do estresse oxidativo. As diferenças morfológicas também são importantes, com folhas menores tipicamente associadas a melhor resfriamento e melhor tolerância ao estresse e um sistema radicular mais extenso permitindo maior absorção de água do solo (DA MATTA; RAMALHO, 2006).

No café arábica, um componente chave da adaptação diferencial entre as cultivares parece ser o controle estomático da perda de água e a eficiência da extração de água do solo (DA MATTA; RAMALHO, 2006). No entanto, os mecanismos fisiológicos que aumentam a eficiência do uso da água (EUA) podem entrar em conflito com aqueles relacionados ao crescimento e produtividade (JONES et al., 1985). Portanto, a identificação de cultivares que combinem crescimento e produtividade satisfatórios e alta EUA é de grande relevância para o cultivo de café em áreas propensas à seca, em condições ambientais anteriormente desfavoráveis para o cultivo e para a sustentabilidade do sistema de produção.

Algumas dessas avaliações são destrutivas, como a biomassa vegetal, e demandam mais recursos, espaço e tempo, pois exigem o transporte de parte das plantas do campo para o laboratório (MIELKE et al., 2012). Neste trabalho, foi adotada uma abordagem diferente usando um método não destrutivo, por meio de um analisador de gases infravermelho – IRGA – que é uma metodologia eficiente para caracterizar genótipos em campo por atributos fisiológicos quando expostos a diferentes regimes hídricos e em recuperação de estresse hídrico.

Nesse contexto, hipotetizamos que o estresse hídrico afeta as características fisiológicas das plantas, e os genótipos de café diferem em relação às respostas à adição de água. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes níveis e durações de déficit hídrico em genótipos de café arábica em condições de campo, caracterizar genótipos e buscar mecanismos de tolerância à seca e responsividade à irrigação para o cultivo de café no Cerrado brasileiro.

3.2.MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Embrapa Cerrados - Planaltina DF (15° 35' S e 47° 42' W, a uma altitude de 1007 m). A região é caracterizada com clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperaturas médias anuais de 21,1° C e precipitação média de 1.345mm (SILVA et al., 2017). O período de chuvas ocorre entre outubro e abril e o período de seca entre maio e setembro (Figura 1). O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, com relevo suave-ondulado e textura argilosa (SANTOS et al., 2013).

3.2.2 Instalação do experimento

O experimento foi instalado em abril de 2015 em uma área de 7.359,5 m² (0,74ha), dividida em cinco experimentos, sendo quatro irrigados e um sem irrigação (Figura 2). Cada experimento recebeu um regime hídrico com intensidade e duração diferente: IP 100 (irrigação plena com reposição de 100% da evapotranspiração), 2. IP 50 (irrigação plena com reposição de 50% da evapotranspiração), 3. DH2 100 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração, 4. DH2 50 (déficit hídrico com

suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 50% da evapotranspiração), 5. Sequeiro (sem irrigação).

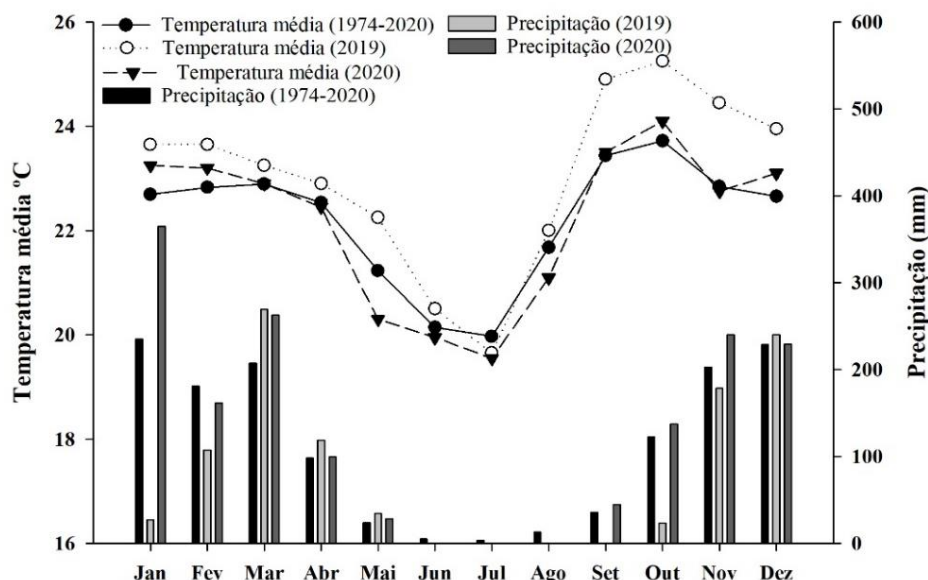


Figura 1. Dados de longo prazo de precipitação pluviométrica e temperaturas média dos últimos quarenta e seis anos (1974 a 2020) ocorridos na área experimental.

Os genótipos utilizados foram o Iapar 59 (Sachimor e portador de genes da espécie *canephora*), Catuaí 62 (Caturra Amarelo IAC 476-11 com Mundo Novo) e E237 (acesso de *C. arabica* da Etiópia) sendo o Iapar 59 classificado como de tolerância intermediária (CARVALHO et al., 2017). Os genótipos foram plantados no espaçamento de 3,50 m entre linhas e 0,50 m entre plantas com uma densidade de 5.600 plantas por hectare. A parcela foi formada por oito plantas, sendo utilizadas três plantas para as avaliações.

Os tratamentos receberam anualmente 400 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e K₂O distribuídos em quatro dosagens nos meses de fevereiro, março, setembro e dezembro, 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em duas dosagens, no qual 2/3 foram aplicados em setembro e 1/3 em dezembro 100 kg ha⁻¹ de micronutrientes FTE BR 12 aplicados em dezembro. Os tratamentos com estresse

hídrico iniciaram em abril de 2017, quando as plantas tinham cerca de dois anos. Todos os anos, o mesmo regime hídrico foi aplicado em cada tratamento, e o acúmulo de água em todos os tratamentos em 2019 e 2020 é apresentado no APÊNDICE B. Os regimes hídricos foram aplicados por um sistema de irrigação linear tracionado por um carretel autopropelido e calculados por um programa de Monitoramento da Irrigação no Cerrado (EMBRAPA, 2017).

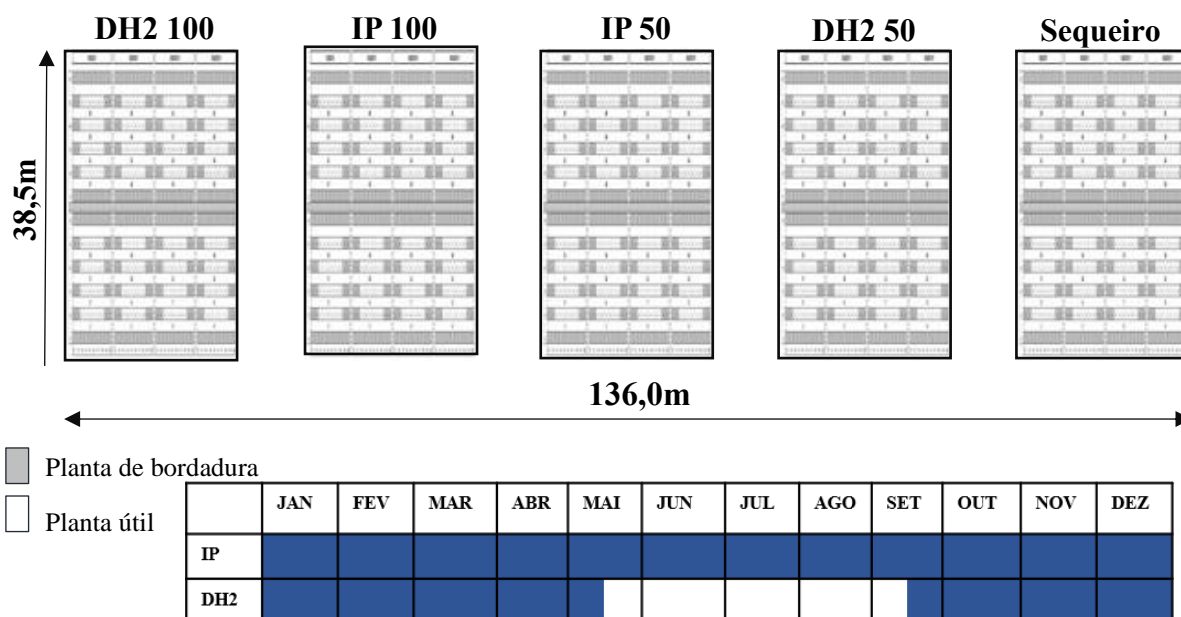


Figura 2. Croqui da área experimental

3.2.3. Variáveis fisiológicas

As avaliações das trocas gasosas (fotossíntese, condutância estomática e transpiração) foram realizadas durante o estresse e após o retorno das irrigações nos tratamentos em DH (déficit hídrico). A avaliação de estresse (Avaliação 1) ocorreu em agosto e as avaliações após o retorno da irrigação entre setembro e outubro de 2019 e 2020. As avaliações de recuperação, Avaliação 2, Avaliação 3, Avaliação 4, Avaliação 5 e Avaliação 6 foram realizadas para acompanhar a recuperação fisiológica das plantas após o retorno da irrigação nos tratamentos

com déficit hídrico e correspondem a primeira, segunda, quarta, sétima e a décima irrigação de recuperação, respectivamente. As avaliações 2, 3 e 4 ocorrerem na segunda quinzena de setembro e as avaliações 5 e 6 foram realizadas na primeira quinzena de outubro. Neste período, foi avaliada também a umidade do solo (APÊNDICE A).

Para a realização das avaliações de trocas gasosas utilizou-se um sistema portátil de trocas gasosas de fluxo aberto (IRGA - LI-6400XT; LI-COR Inc., Lincoln, NE) (Figura 3D e E). As avaliações foram feitas em três plantas por parcela, nas folhas mais jovens completamente expandidas de ramos plagiotrópicos, do terço médio das plantas. As trocas gasosas foram determinadas com concentração de CO₂ de 400 ppm, densidade de fluxo de fótons fotossintéticos de 1000 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ e umidade relativa do ar entre 40% e 60%. As avaliações foram realizadas no período da manhã, entre 8 e 11 horas, esse horário foi determinado por uma curva diária de fotossíntese (Figura 3) feita no tratamento de irrigação plena das 6 às 18h com o intervalo de uma hora entre cada avaliação.

O CRA foi avaliado nas plantas sob estresse hídrico e após a recuperação, e foi determinado por meio da coleta de 10 discos foliares de 0,8 cm de diâmetro (Figura 3^a,B e C), obtidos de folhas coletadas no período da manhã, entre 8 e 9 horas e determinado a partir da seguinte equação:

$$\text{CRA} = \{[(\text{MF} - \text{MS})/(\text{MT} - \text{MS})] \times 100\} \quad (1)$$

onde MF é a massa fresca, MT é a massa túrgida após a reidratação dos discos foliares por imersão em água destilada por 24h, em escuro, e MS é a massa seca dos discos foliares após secagem na estufa a 60 ° C, segundo a metodologia de Barrs e Wheaterley (1962).

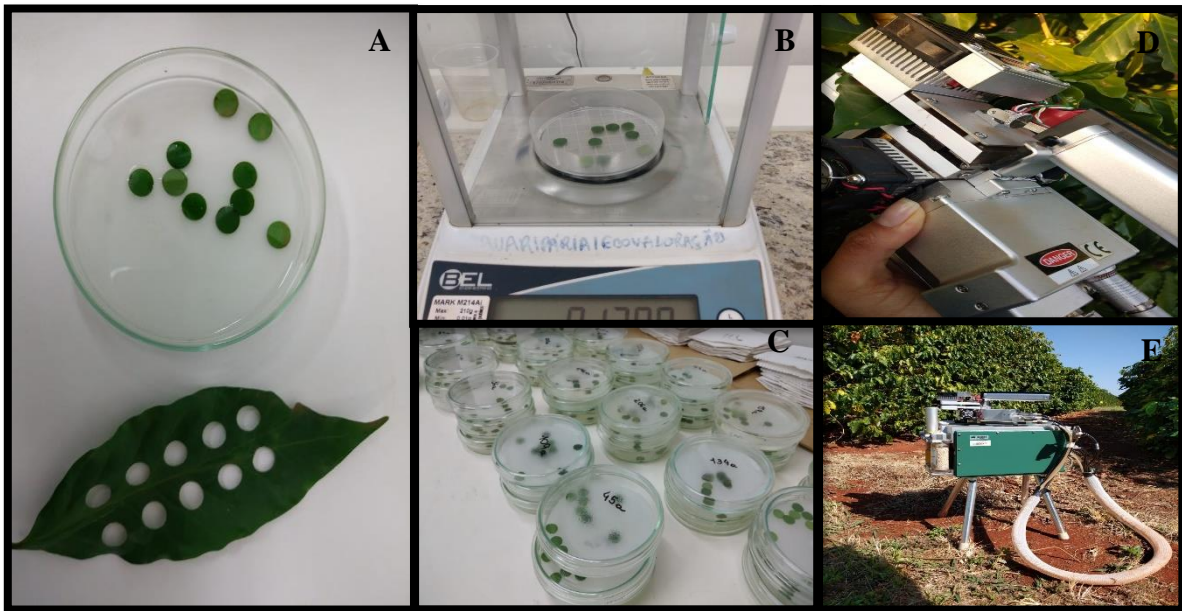


Figura 3. Avaliação do conteúdo relativo de água (A, B e C) e das trocas gasosas (D e E).

3.2.4. Produtividade

Entre abril e junho, os frutos das plantas úteis foram colhidos por derrça no pano, e o volume do café foi determinado em seguida. As amostras foram secas em terreiro e o volume e o peso de café em coco foi determinado. O rendimento foi estimado a partir do beneficiamento dos grãos (diferença entre pesos antes e após o processamento), com teor de umidade padronizado para 13% nos grãos após secagem e a produtividade dos tratamentos foi calculada de acordo com o número de plantas por parcela. Ao final foi obtida a produtividade em sacas ha^{-1} para cada genótipo nos diferentes tratamentos de irrigação.

Todas as variáveis foram realizadas em dois anos de estudo, 2019 e 2020, com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos dados devido à bienalidade da cultura, deste modo, o ano não representa um fator neste estudo.

3.2.5. Análise estatística

Devido à impossibilidade de casualizar os regimes hídricos, cada tratamento hídrico constitui um experimento com quatro repetições de cada material, constituindo um grupo de experimentos. Para a verificação de se proceder com a análise conjunta de grupos de experimentos foi realizado o teste F Máximo de Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas pelo software estatístico SAS version 9.0 (SAS, 2008). As figuras foram produzidas usando o software Sigma Plot, versão 10 (SIGMA, 2011).

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1. Análise de Variância

Houve diferença altamente significativa para as variáveis analisadas dentro dos fatores genótipos e avaliação, exceto para condutância estomática (g_s) e transpiração (E) que não apresentaram diferença estatística para genótipos em 2020 na avaliação 1 e para fotossíntese (2019) e condutância estomática (2020) na avaliação 2 (APÊNDICE C, D e E). Houve interação significativa entre os genótipos de café e os regimes hídricos para as variáveis estudadas, com exceção do conteúdo relativo de água na avaliação de recuperação, nos dois anos, que apresentou diferença estatística apenas para irrigação e genótipo (2019) e genótipo (2020) (APÊNDICE F).

3.3.2. Curva diária

O café é uma cultura adaptada à sombra e possui uma irradiância de saturação muito baixa para a fotossíntese foliar comparada a outras culturas. No entanto, esses valores dependem do genótipo estudado, como observado na Figura 4. A fotossíntese ocorre na faixa de 4-11 $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ em condição de concentrações de CO_2 atmosférico e luz saturante, que está na menor faixa registrada para espécies arbóreas (CEULEMANS; SAUGIER, 1993).

As variáveis de trocas gasosas apresentaram comportamento similar ao longo do dia. No entanto, entre os genótipos é notada uma variação com relação ao maior pico de trocas gasosas durante o dia (Figura 4). O Iapar 59 teve os maiores picos de condutância estomática, transpiração e fotossíntese entre 10 e 13h. Por sua vez, o maior pico do Catuaí 62 foi das 7 às 9h. O E237 apresentou maior condutância estomática e fotossíntese que os demais genótipos e o seu maior pico é entre 8 e 9h e um menor às 11h e, a partir desse horário houve uma queda significativa das trocas gasosas (Figura 4).

A fotossíntese realizada no período da tarde pelos genótipos Iapar 59 e Catuaí 62 demandou uma alta taxa de transpiração das plantas, decorrente de uma maior abertura estomática (Figura 4A). Por outro lado, o E237 apresentou uma menor transpiração no período mais quente do dia devido a uma forte sensibilidade estomática e ao aumento do déficit de pressão de vapor, o que restringe amplamente o influxo de CO_2 nas folhas limitando a fotossíntese, reduzindo a perda de água por transpiração e evitando a dessecação das plantas (DA MATTA; RAMALHO, 2006). Este genótipo tem como centro de origem a Etiópia e vem sendo utilizado em cruzamentos controlados como fonte de gene pela Embrapa Cerrados. A combinação destas informações da dinâmica das trocas gasosas entre genótipos em condições ambientais diversas podem ser úteis no sentido de se escolher parentais nos programas de melhoramento para uma determinada região.

O período ideal de realização das avaliações de trocas gasosas no café em condições de campo é entre 7 e 11h (Figura 4), a depender do genótipo, para se ter um melhor resultado da atividade fisiológica da planta. Em horários mais quentes do dia há uma redução da condutância estomática o que implica diretamente na diminuição da fotossíntese.

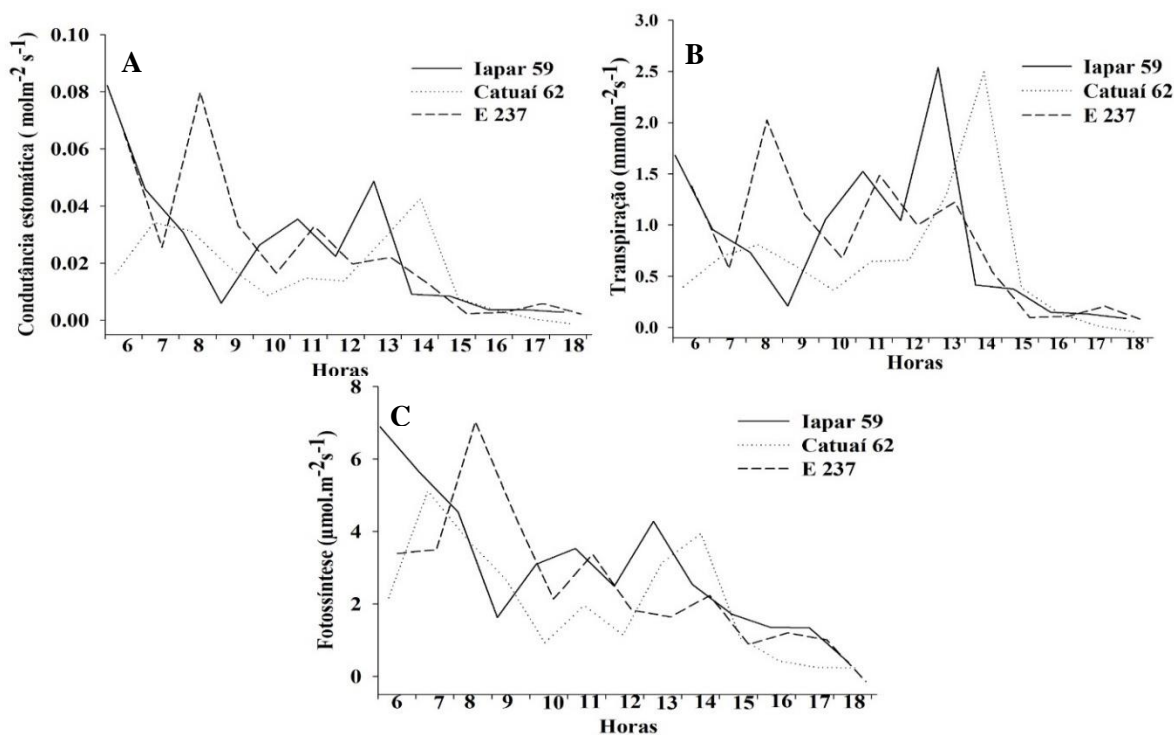


Figura 4. Curva diária de condutância estomática (A), taxa de transpiração (B) e fotossíntese (C) de três genótipos de café.

3.3.3. Trocas gasosas – Genótipos x Avaliações

Parâmetros de trocas gasosas como fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática são indicadores sensíveis de déficit hídrico em plantas e são úteis na avaliação de genótipos adaptados para crescer em ambientes com disponibilidade hídrica limitada (SILVA et al., 2021). Os dados de trocas gasosas dos três genótipos durante o estresse e pós-rega, nos tratamentos com déficit hídrico, nos dois anos, estão apresentados nas figuras 5, 6 e 7.

Nos tratamentos IPs não houve irrigação de recuperação devido as plantas serem irrigadas todo o ano. Similarmente, no tratamento sequeiro, as avaliações representam a fisiologia das plantas de café ao longo do período de seca no Cerrado com possibilidade de recuperação apenas com água da chuva (Figura 5, 6 e 7I e J). Apesar dos tratamentos com irrigação plena IP 100 (Figura 5 A) e IP 50 (Figura 5 C), terem as mesmas tendências, em 2019 os valores são bem menores no tratamento que recebeu apenas metade da irrigação, diferença essa que não ocorreu em 2020.

Os tratamentos de IP mesmo sendo irrigados apresentam variações ao longo das avaliações devido as trocas gasosas serem influenciadas tanto pela irrigação quanto pela temperatura que apresentam valores elevados nessa época do ano (Figura 6A, B, C e D). A troca gasosa entre a folha e a atmosfera circundante é regulada diariamente pelos estômatos em resposta a estímulos internos e ambientais (LAWSON; BLATT, 2014, GAGO et al., 2020). A temperatura elevada aumenta a demanda evaporativa no ar, muitas vezes resultando em fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese através de menor influxo de CO₂ para as folhas (DA MATTA et al., 2010), aliado à grande resistência difusiva do mesófilo ao CO₂ (MARTINS et al., 2014).

Na avaliação das características fisiológicas em genótipos de café sob condições de déficit hídrico verificou-se que a recuperação fisiológica nos tratamentos DH2 100 e DH2 50 foi lenta no início do retorno das irrigações (Avaliação 2 e 3, segunda quinzena de setembro) indicando que o solo estava com baixa umidade (APÊNDICE A) e as plantas com baixo teor de água nas folhas (Figura 5, 6 e 7E, F, G e H). No entanto, a partir da Avaliação 4 (início de outubro, com 20 dias de recuperação e aplicação de 108,7 mm de água em 4 irrigações) as trocas gasosas passam a ter um crescimento mais proeminente em todos os genótipos (Figura 5, 6 e 7E, F, G e H). Essa lenta recuperação inicial da condutância estomática nas plantas sob

déficit hídrico indica uma sensibilidade dos estômatos à disponibilidade de água. De forma semelhante, em videiras houve uma lentidão na recuperação da condutância estomática depois de um déficit de água prolongado e o retardamento tem sido atribuído à acumulação foliar de ABA (TOMBESI et al., 2015).

Os resultados sugerem que a redução da fotossíntese quando as plantas estão sob estresse está relacionada com o fechamento parcial dos estômatos e consequente redução da absorção de CO₂. Como as moléculas de CO₂ e de água compartilham a mesma via em ambos os níveis foliar e celular, a redução da condutância estomática é considerada a principal causa de regulação negativa da fotossíntese durante o estresse hídrico (ZAIT et al., 2019). Assim, os baixos valores de fotossíntese têm sido associados a limitações difusivas (estomáticas e mesófilo), ao invés de bioquímicas (DA MATTA, 2003; CAVATTE et al., 2008).

Em 2019 não foi possível realizar todas as avaliações em sequeiro devido às plantas estarem em um estado de estresse hídrico alto, apresentar folhas muito murchas e condutância estomática negativa. A taxa fotossintética nos IPs foi similar aos dados de condutância estomática (Figura 7A e C). Em 2020 observaram-se comportamentos distintos com uma grande variação da fotossíntese no genótipo Iapar 59 sob DH2 100 ao longo das avaliações (Figura 7B) e uma menor variação de fotossíntese sob DH2 50, no entanto, na Avaliação 5 quando os outros genótipos reduziram a fotossíntese o Iapar 59 manteve-se estável e aumentou o potencial fotossintético na avaliação seguinte de 5 para 6 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Em 2020, a maior condutância estomática e transpiração na Avaliação 6 (início de novembro) foi em decorrência das chuvas que ocorreram nesse período que totalizaram 92 mm (Figura 5 e 6I e J).

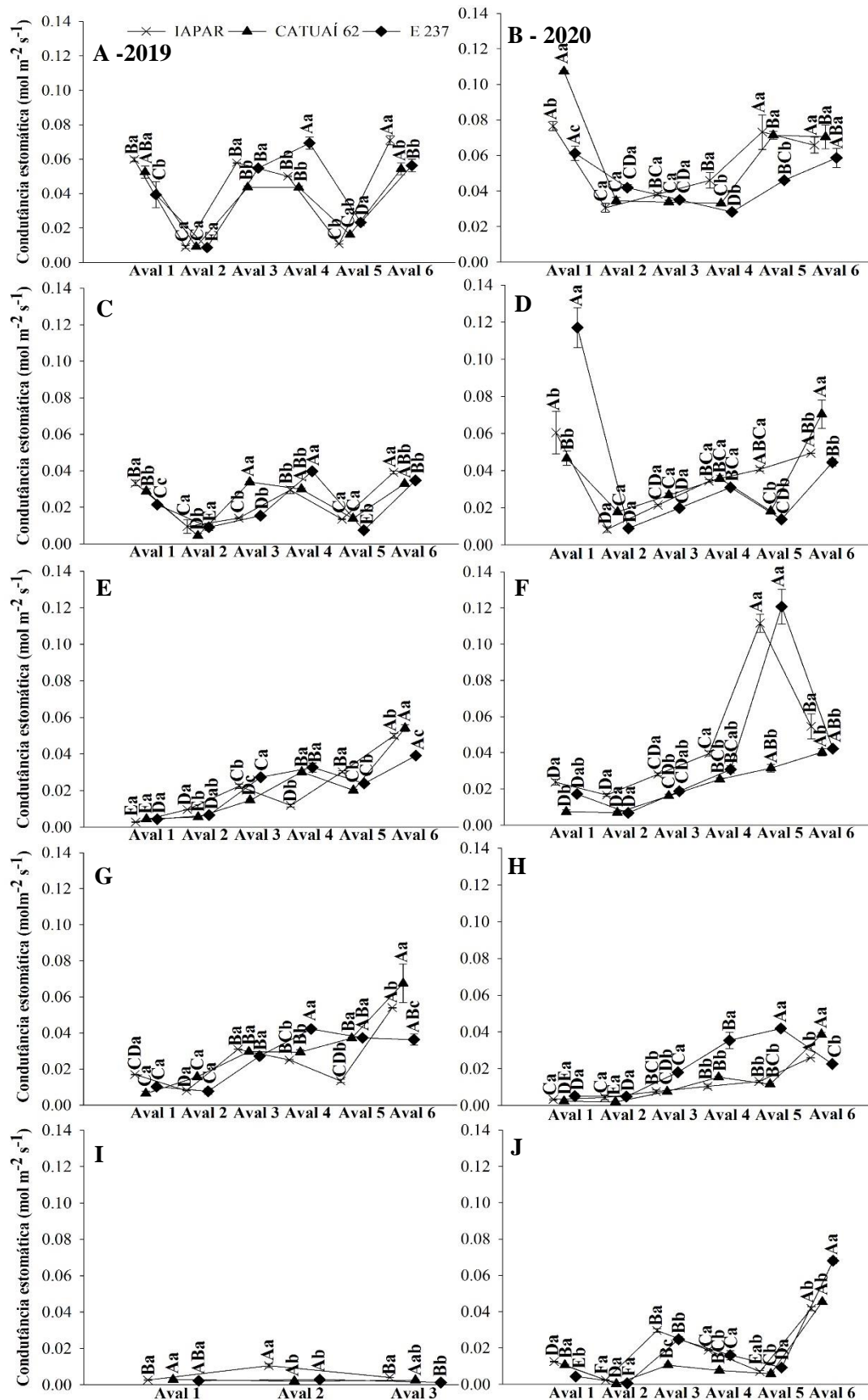


Figura 5. Condutância estomática em estresse (Aval 1) e após o retorno das irrigações (Aval 2 até 6), nos anos 2019 e 2020, de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100% (A e B), IP 50% (C e D), DH2 100% (E e F), DH2 50% (G e H) e sequeiro (I e J). As letras maiúsculas comparam as avaliações para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada avaliação. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

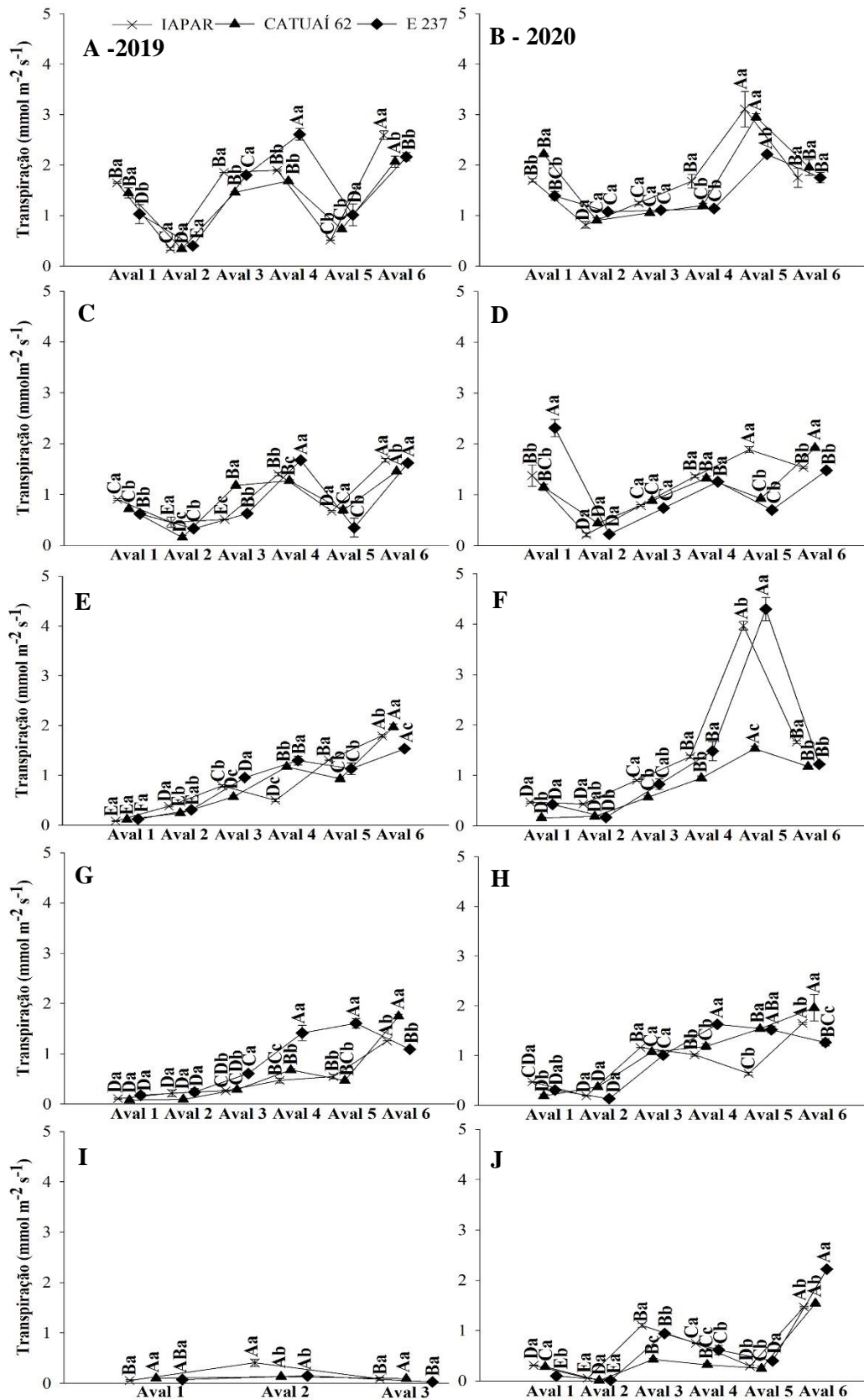


Figura 6. Transpiração em estresse (Aval 1) e após o retorno das irrigações (Aval 2 até 6), nos anos 2019 e 2020, de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100% (A e B), IP 50% (C e D), DH2 100% (E e F), DH2 50% (G e H) e sequeiro (I e J). As letras maiúsculas comparam as avaliações para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada avaliação. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

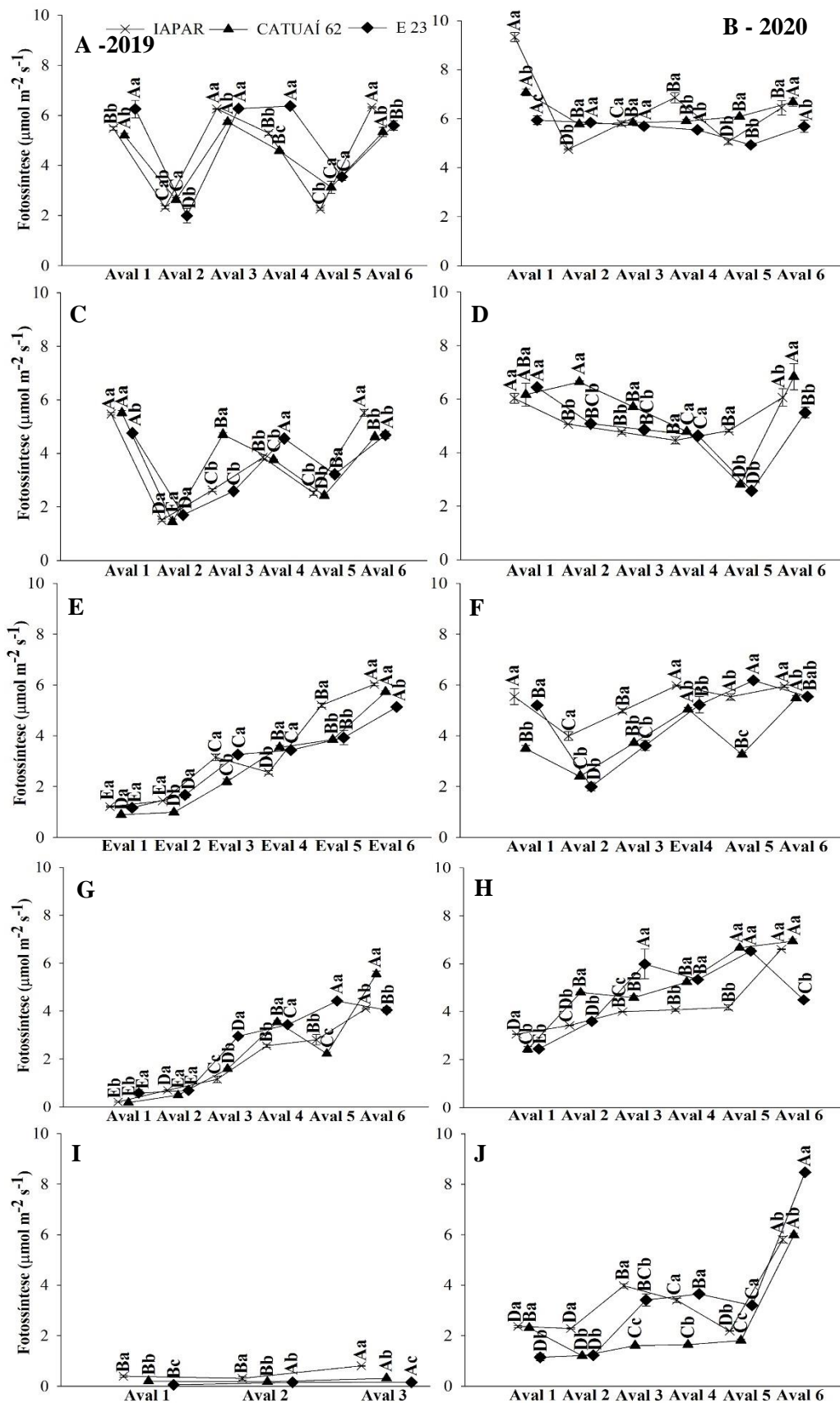


Figura 7. Fotossíntese em estresse (Aval 1) e após o retorno das irrigações (Aval 2 até 6), nos anos 2019 e 2020, de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100% (A e B), IP 50% (C e D), DH2 100% (E e F), DH2 50% (G e H) e sequeiro (I e J)). As letras maiúsculas comparam as avaliações para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada avaliação. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

3.3.4. Trocas gasosas – Genótipos x Regimes Hídricos

Foram avaliadas também, as trocas gasosas dos três genótipos de café arábica em função dos regimes hídricos, durante o período de estresse e após o retorno das irrigações nos tratamentos com déficit hídrico, para verificar o efeito dos regimes na fisiologia da planta (Figura 8, 9 e 10). As análises das figuras 8, 9 e 10B e D correspondem a Avaliação 6 que foi realizada no início de novembro após um acumulado de 178,7 mm de água irrigada (2019) e 134,5 mm de água irrigada + 92 mm de chuva (2020). Os genótipos apresentam maior condutância estomática e transpiração nos tratamentos sob irrigação plena (IPs), devido ao fornecimento de água nestes tratamentos, diferente do que ocorre em DH e sequeiro (Figura 8 e 9AC). Por outro lado, em sequeiro e DH2, houve uma diminuição significativa da transpiração dos genótipos devido à redução da disponibilidade hídrica e consequente fechamento estomático (Figura 8 e 9 A e C).

A suspensão da irrigação de junho a setembro nos DHs levou a uma redução da transpiração, apresentando valores abaixo de $0,2 \text{ mmolm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Figura 9A e C). Embora, a redução da perda de água por transpiração seja importante para manutenção temporária do potencial de água na folha (MELO et al., 2014), a diminuição da transpiração por meio do fechamento estomático resulta em menor acúmulo de biomassa devido à diminuição da assimilação de carbono, refletindo diretamente na atividade fotossintética e na produtividade das culturas, como observado nas plantas em DH2 50 e sequeiro (Figura 10). Com isso, as características que aumentam a eficiência do uso da água podem ter conflitado com aquelas relacionadas à produtividade da cultura e resultar em baixa produtividade nos tratamentos com maior déficit hídrico.

Por outro lado, o período com DH2 100 é suficiente para manejar água, uniformizar florada, garantir produção no ano seguinte, desde que a nutrição mineral do solo esteja equilibrada, assim como observada por Veiga et al., (2019). Dependendo do genótipo, a diferença de produtividade não é significativa, e o emprego do déficit hídrico pode contribuir para a sustentabilidade do sistema de produção devido a redução do uso d'água e de custos e qualidade do produto final. A Figura 8, 9 e 10C e D, mostra que os regimes de déficit hídrico recuperaram as variáveis fisiológicas com a volta das irrigações.

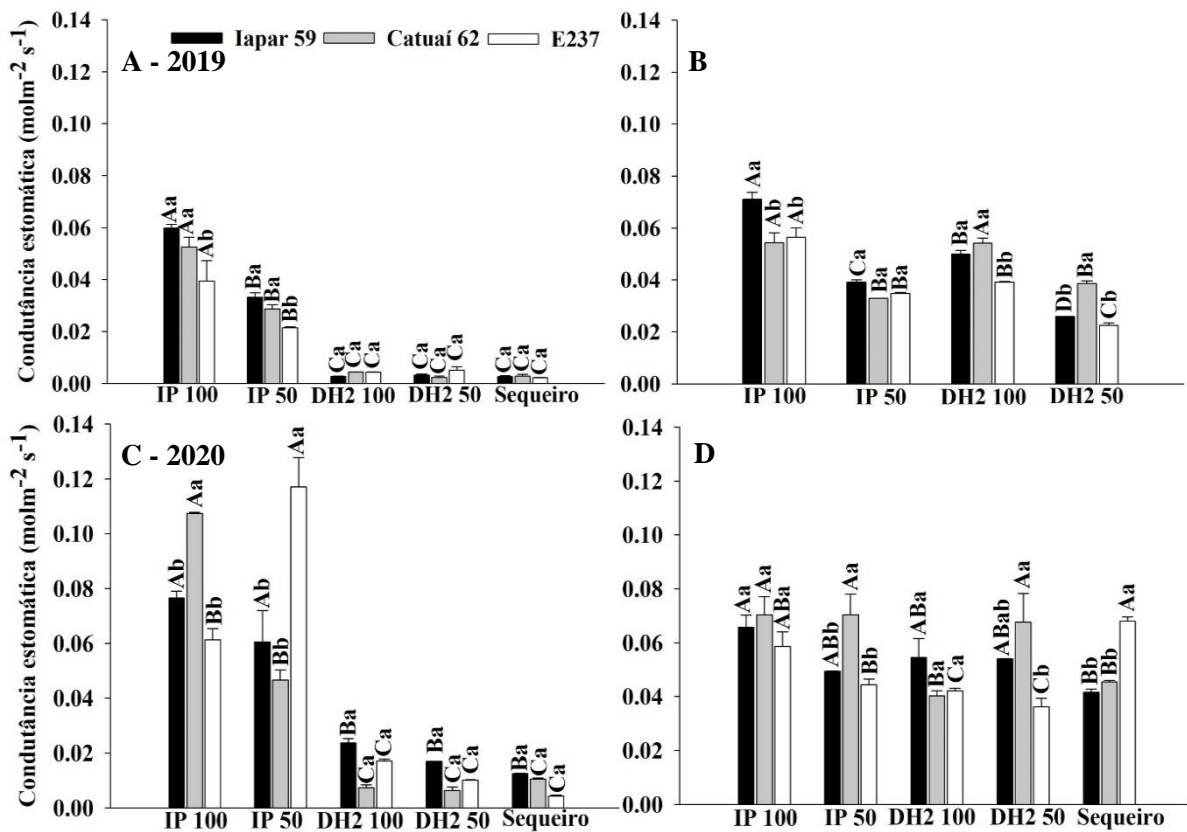


Figura 8. Condutância estomática em estresse (A e C) e após as irrigações (B e D), nos anos 2019 (A e B) e 2020 (C e D), de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro). As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

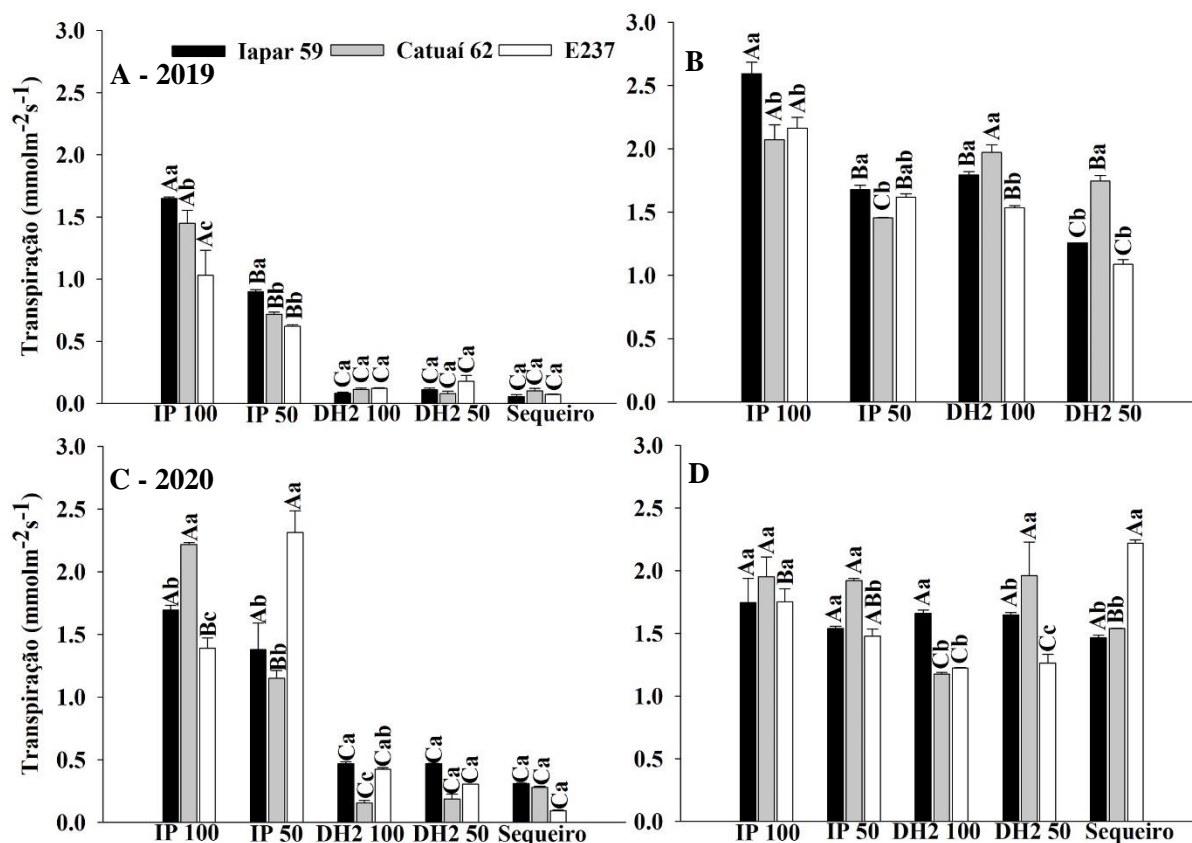


Figura 9. Transpiração em estresse (A e C) e após as irrigações (B e D), nos anos 2019 (A e B) e 2020 (C e D), de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro). As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A taxa fotossintética dos genótipos de café, de uma maneira geral, foi maior nos IPs (Figura 10 A e C). O Iapar 59 apresentou um excelente desempenho em todos os tratamentos. Por sua vez, o E237 teve menores resultados em sequeiro em 2019 ($0,6 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e maiores em 2020 ($1,14 \mu\text{mol.m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (Figura 10A e C). A menor taxa fotossintética observada nos tratamentos com déficit hídrico e sequeiro ocorreu devido ao processo fotossintético depender de um equilíbrio de condições ambientais, sendo que a seca e a temperatura estão entre as que mais afetam a produtividade do cafeeiro (RAMALHO et al., 2014; MARIAS et al., 2017). Além do mais, essas reduções estão fortemente associadas a alterações estomáticas, uma vez que os

estômatos do café são bastante sensíveis à disponibilidade de água no solo e à demanda evaporativa de ar (BATISTA et al., 2012).

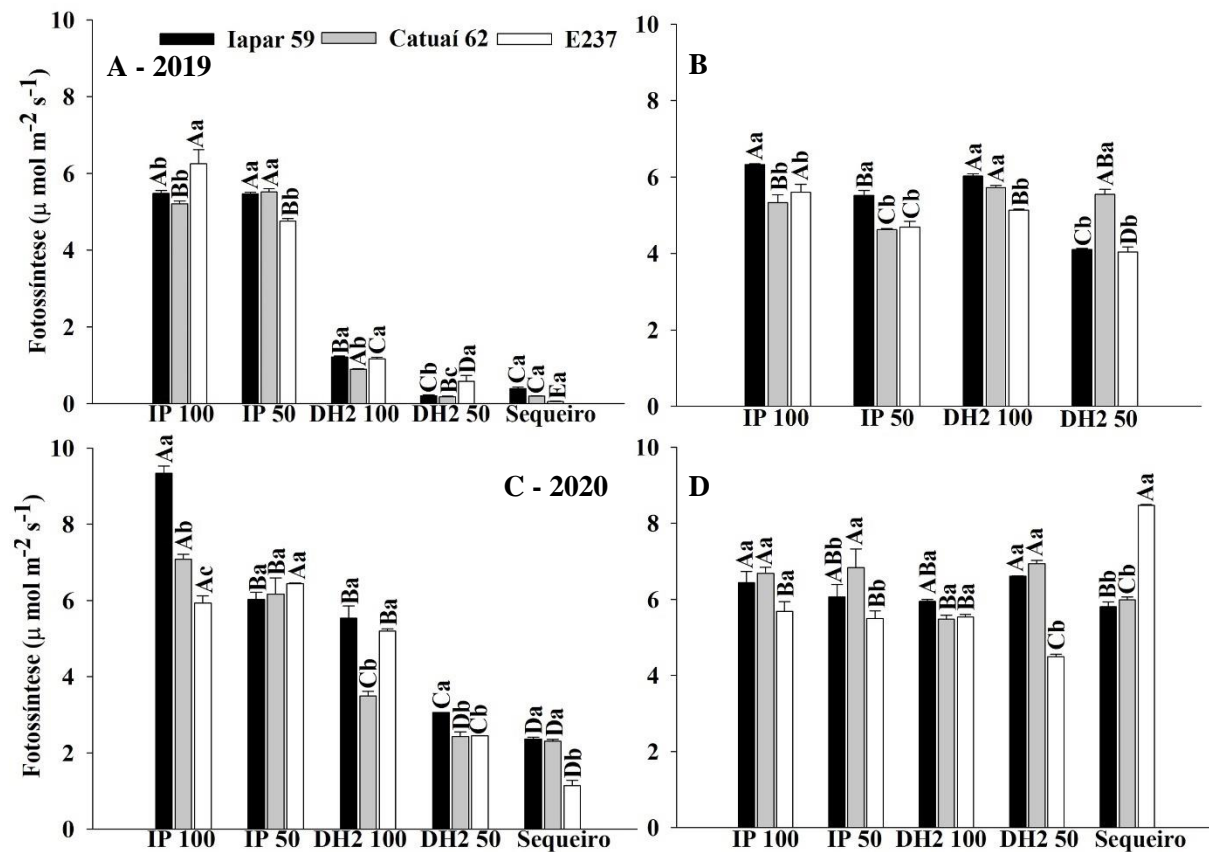


Figura 10. Fotossíntese em estresse (A e C) e após as irrigações (B e D), nos anos 2019 (A e B) e 2020 (C e D), de três genótipos de café arábica (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro). As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A avaliação após o retorno das irrigações nos tratamentos DH2 100 e DH2 50 mostra que as plantas submetidas a estresse hídrico recuperaram seu potencial fotossintético (Figuras 8, 9 e 10). Deste modo, na época de floração do café (setembro/outubro) as plantas já estavam recuperando a água o que é necessário para o pleno desenvolvimento da cultura (Tabela 1). Os dados obtidos neste trabalho são condizentes com aqueles de trabalhos anteriores nos quais mostram que o tempo necessário para a recuperação é tipicamente dependente da gravidade do

estresse hídrico, uma vez que determina a extensão em que as funções fisiológicas são prejudicadas (FLEXAS et al., 2004; BRODRIBB e COCHARD, 2009).

Os parâmetros fotossintéticos mostram que o Iapar 59 apresenta um bom desenvolvimento fisiológico nas condições de déficit hídrico. E estudo como o de Carvalho et al. (2017), realizado com mudas de café em casa de vegetação, mostrou que ao suspender a irrigação o o Iapar 59 mostrou-se mais tolerante à seca que os demais genótipos. Do mesmo modo, o genótipo de café Geisha que é uma introdução da Etiópia, demonstrou boa tolerância à seca em condições de campo (QUEIROZ-VOLTAN et al., 2014). O Iapar 59 foi considerado tolerante ao déficit hídrico após obter maior expressão do gene M6PR, responsável pela expressão das respostas aos estresses bióticos e abióticos (FREIRE et al., 2019). Do ponto de vista ecofisiológico, cultivares de café tolerantes à seca são capazes de manter melhor o estado hídrico durante períodos de seca de longo prazo, o que tem sido atribuído a uma combinação de enraizamento profundo e controle estomático adequado (DA MATTA et al., 2003, PINHEIRO et al., 2005).

3.3.5. Conteúdo Relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) é uma boa referência das condições hídricas da planta, pois é um indicador importante do estado da água e reflete o equilíbrio entre o suprimento para o tecido foliar e a taxa de transpiração (LUGOJAN; CIULCA, 2011).

O conteúdo relativo de água foi maior nos tratamentos de irrigação plena (>70%, com exceção do E237), em todos os genótipos, devido à maior disponibilidade de água nas plantas nestes regimes hídricos (Tabela 1). Os tratamentos de IPs tiveram CRA semelhantes indicando uma eficiência na utilização de água pelas plantas sob irrigação com 50%, pois dependendo do ano não houve diferença entre a produtividade do IP 50 e IP 100% (Tabela 1 e Figura 11).

Tabela 1. Conteúdo relativo de água (%) de três genótipos de café arábica (E237, Iapar 59 e Catuaí 62) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, nos anos de 2019 e 2020.

Irrigação	Genótipos					
	E237	Iapar 59	Catuaí 62	E237	Iapar 59	Catuaí 62
	2019			2020		
IP 100	78,92Aa	76,90Aa	74,95Aa	61,72ABb	77,78Aa	77,53Aa
IP 50	73,07Ba	73,75Aa	73,24Aa	73,94Aa	71,84Aa	72,97Aa
DH2 100	36,04CDb	40,15Bab	43,04Ba	42,42Cb	54,36Ba	52,95Ba
DH2 50	31,83Da	33,42Ca	31,34Ca	45,65Ca	49,05Ba	49,77Ba
Sequeiro	38,02Ca	38,09BCa	31,98Cb	50,11BCa	49,72Ba	43,18Ba

IP 100 e IP 50 = irrigação plena com reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente, DH2 100 e DH2 50 = déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente. Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas (comparação entre regimes hídricos) nas colunas e minúsculas (comparação entre os genótipos) nas linhas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No tratamento de IP 100, em 2020, o genótipo E237 apresentou menor CRA (61.72%) nas folhas que os demais genótipos (Tabela 1). Por outro lado, em 2019, no sequeiro, o E237 e o Iapar 59 apresentam maior CRA, demonstrando que em sequeiro o E237 mantém maior hidratação e economiza mais água do que quando é submetido a tratamentos com irrigação.

Não houve interação significativa entre os fatores genótipos e regimes hídricos para a avaliação realizada após a recuperação das trocas gasosas (Avaliação 6), desta forma, serão discutidos isoladamente. O E237 apresentou maior teor de água nas plantas após a irrigação, diferentemente do que ocorreu na avaliação das plantas em estresse (Tabela 1), indicando uma rápida recuperação do CRA desse genótipo (Tabela 3). Em condição de sequeiro o genótipo

E237 teve uma performance satisfatória. Além disso, este genótipo conseguiu recuperar seu conteúdo de água na folha mais rapidamente que os demais genótipos (Tabela 1). Por se tratar de uma cultura perene, com ciclos vegetativos e reprodutivos longos, o poder de recuperação é um ponto chave para resiliência da planta à seca. A recuperação mais rápida está associada ao eficiente controle estomático que minimiza a perda de água por transpiração, sendo considerada uma espécie que economiza água ao invés de uma espécie tolerante à desidratação (DAMATTA et al., 1993).

Tabela 2. Efeitos dos regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro) no conteúdo relativo de água (CRA), após o retorno das irrigações das plantas, nos anos de 2019 e 2020.

Irrigação	CRA (%)	
	2019	2020
IP 100	70,82b	78,43a
IP 50	72,34ab	78,54a
DH2 100	76,13a	76,36ab
DH2 50	71,22b	76,30ab
Sequeiro	32,95c	74,35b

IP 100 e IP 50 = irrigação plena com reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente, DH2 100 e DH2 50 = déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente. Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Os efeitos dos regimes hídricos no conteúdo relativo de água das plantas recuperadas pela irrigação em 2019, mostram que os tratamentos com déficit hídrico em alguns casos, mantiveram o CRA das folhas. Na avaliação 6 de 2020, devido à ocorrência de 155mm de chuva antes da última avaliação, os dados de recuperação apresentam pouca diferença entre os tratamentos (Tabela 2), sendo o menor CRA em sequeiro.

O sequeiro e DH2 50 tiveram uma redução de mais de 50% do CRA comparado aos IPs. Assim como observado nas trocas gasosas os dados de CRA de 2020 nos tratamentos de déficit e sequeiro foram maiores que os de 2019 (Tabela 2). De acordo Barrs e Weatherley (1962),

valores de CRA em torno de 98% indicam folhas turgidas e entre 30 e 40% revelam planta com escassez de água. Desta forma, as plantas em sequeiro e DH 50 (com reposição de 50 % da evapotranspiração), em 2019, estavam com escassez hídrica por apresentar CRA em torno de 31%, que levou ao comprometimento do potencial fotossintético das plantas sob este tratamento, como observado na figura 6. Dessa forma, os dados indicam que esses tratamentos não são indicados para produção de café no Cerrado, pois a diminuição do potencial fotossintético das plantas em paralelo com o declínio do CRA foliar confirmou uma menor eficiência de assimilação de CO₂ sob estresse por limitação de água.

Tabela 3. Efeitos dos genótipos de café arábica (E237, Iapar 59 e Catuaí 62) no conteúdo relativo de água (CRA), após o retorno das irrigações, nos anos de 2019 e 2020.

Genótipos	CRA (%)	
	2019	2020
E237	65,07ab	80,07a
Iapar 59	66,09a	75,17b
Catuaí 62	62,92b	75,15c

Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

No tratamento de IP 100, em 2020, o genótipo E237 apresentou menor CRA (61.72%) na folha que os demais genótipos (Tabela 1). Por outro lado, em 2019, no sequeiro, o E237 e o Iapar 59 apresentam maior CRA, demonstrando que em sequeiro o E237 mantém maior hidratação e economiza mais água do que quando é submetido a tratamentos com irrigação.

3.3.6. Produtividade

As maiores produtividade do cafeeiro foram observadas nos IPs e no DH2 100, dependendo do genótipo e ano (Figura 11). O maior déficit hídrico em DH2 50 e em sequeiro refletiu na produtividade e esses tratamentos tiveram menor produção para todos os genótipos estudados. O tratamento com estresse hídrico controlado por cerca de 70 dias (DH2 100)

apresentou uma redução de produção significativa em 2020, nos genótipos Catuaí 62 e Iapar 59. No genótipo E237 não houve diferença significativa entre a produtividade em IP e DH2 100, o que seria a situação ideal, pensando em reduzir uso de água de irrigação, redução de custos. Em 2019, os genótipos apresentaram baixa produtividade devido ser um ano de bienalidade negativa. O E237 e o Catuaí 62 foram mais produtivos no IP 50 e DH2 100. No entanto, o Iapar 59 apresentou maior produtividade nos IPs e no DH2 100.

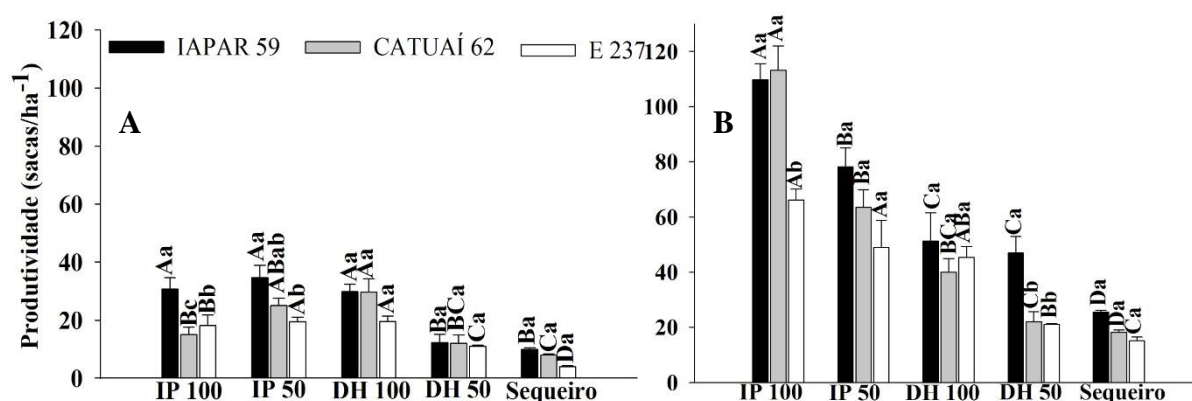


Figura 11. Produtividade (sacas/ha-1) de três genótipos de café arábica (E237, Iapar 59 e Catuaí 62) submetido a cinco regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, nos anos de 2019 (A) e 2020 (B). As letras maiúsculas comparam os sistemas de irrigação para cada cultivar. As letras minúsculas comparam aos genótipos de cada sistema de irrigação. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Por ser uma espécie bianual, na cultura do café, há uma diferença morfológica, fisiológica e consequentemente produtiva entre os anos. Assim como os parâmetros fotossintéticos foram mais baixos em 2019 do mesmo modo ocorreu com a produtividade. Neste ano, foi observada uma influência da bienalidade mais acentuada no tratamento de IP 100, pois o manejo tradicional de cafeeiros em condições de Cerrado, com irrigações durante o ano todo, tem como consequência uma grande variação anual da produtividade (bienalidade acentuada) e desuniformidade na maturação dos grãos, devido à ocorrência de múltiplas floradas (GUERRA et al., 2005). No entanto um período de estresse hídrico controlado como proposto

por Guerra et al., (2005) e validado por Silva (2009) e Veiga et al. (2019) é de fundamental importância para uniformidade da florada e maturação dos frutos.

A menor disponibilidade hídrica em DH2 50 e sequeiro levou a uma diminuição significativa da produtividade em todos os genótipos estudados, não sendo indicado para cultivo de café no Cerrado, ou seja, é necessário submeter às plantas a um déficit hídrico mediano para uniformizar a florada, como proposto por Guerra et al., (2005), no entanto, não é recomendado reduzir a irrigação a 50% da evapotranspiração. Silva et al. (2009) obtiveram maiores produtividades em tratamentos irrigados ou submetidos a déficits hídricos menos severos, mas também demonstraram que é possível aliar uniformidade na maturação dos frutos e produtividade, desde que se aplique o nível de déficit adequado para cada região.

Os genótipos apresentam características e respostas distintas à disponibilidade hídrica. O E237 pertence ao banco de germoplasma da Embrapa Cerrados, com origem da Etiópia e características de porte alto, entrenós longos e valores de produção de grãos inferiores a cultivares disponíveis no mercado, como observado em todos os tratamentos (Figura 11), no entanto, apresentou uma recuperação mais rápida das trocas gasosas e CRA nos tratamentos com déficit hídrico.

A alta troca gasosa do E237 em sequeiro é uma característica intrínseca do genótipo de se adaptar melhor as condições de seca, no entanto, ainda são necessários estudos para melhorar a produtividade. Por sua vez, o Iapar 59 apresenta alto potencial fisiológico e produtivo em regimes com alta disponibilidade de água e com déficit hídrico.

3.4. CONCLUSÕES

1. Os resultados indicam que as respostas do cafeeiro ao déficit hídrico são baseadas nos mecanismos de prevenção a seca: fechamento estomático, redução da transpiração e absorção contínua de água.

2. Os dados de produtividade mostraram que, para esses genótipos, a duração do estresse e a redução de 50% na disponibilidade hídrica limitaram a produtividade das plantas sob estresse hídrico.

3. A irrigação complementar às chuvas é essencial para a cafeicultura no Cerrado, pois o cultivo de sequeiro não é favorável ao desenvolvimento fisiológico e reprodutivo dos genótipos de café estudados.

4. O Iapar 59 é um genótipo adequado para produção no Cerrado devido à fisiologia adaptada e alta produtividade, sendo superior aos demais genótipos sob irrigação plena e manejo do déficit hídrico. E237 poderia ser usado em programas de melhoramento genético como fonte de genes para aumentar a tolerância ao déficit hídrico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. "Köppen's climate classification map for Brazil," *Meteorol. Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

BARRS H. D.; WEATHERLEY, P. E. A. Re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. *Australian journal of biological sciences*, v. 15, n. 3, p. 413-428, 1962.

- BATISTA, K. D.; ARAÚJO, W. L.; ANTUNES, W. C.; CAVATTE, P. C.; MORAES, G. A. B. K.; MARTINS, S. C. V.; DAMATTA, F. M. Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. **Trees**, v. 26, n. 2, p. 459-468, 2012.
- BRODRIBB, T. J.; AND COCHARD, H. Hydraulic failure defines the recovery and point of death in water-stressed conifers. **Plant physiology**, v. 149, n. 1, p. 575-584, 2009.
- CARVALHO, F. G.; SERA, G. H.; ANDREAZI, E.; SERA, T.; FONSECA, I. C. D. B.; CARDUCCI, F. C.; COSTA, K. C. Tolerância ao déficit hídrico em mudas de genótipos de café portadores de genes de diferentes espécies. **Coffee Science**, v.12, n.2, 156-163, 2017.
- CEULEMANS, R. SAUGIER, B. Photosynthesis. In: RAGHAVENDRA, A. S. ed. **Physiology of Trees**. New York: John Wiley & Sons, 1993. p. 21-50.
- DA MATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C.; RAMALHO, J. C. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.
- DAMATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. COFFEE: Environment and Crop Physiology. In: DAMATTA, F. M. ed. **Nova Science Publishers**: New York: p 181-216, 2010.
- 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, p. 55-81, 2006.
- DAMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant science**, v. 164, n. 1, p. 111-117, 2003.
- DA MATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S.; REGAZZI, A. J. Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought. **Journal of Horticultural Science**, v. 68, n. 5, p. 741-746, 1993
- Embrapa – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária., “**Monitoramento de irrigação no Cerrado**,” 2017. [Online]. Available: <http://hidro.cpac.embrapa.br>.

FLEXAS, J.; RIBAS-CARBO, M.; DIAZ-ESPEJO, A.; GALMES, J.; MEDRANO, H. Mesophyll conductance to CO₂: current knowledge and future prospects. **Plant, cell & environment**, v. 31, n. 5, p. 602-621, 2008.

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F.; CORNIC, G.; SHARKEY, T. Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C₃ plants. **Plant biology**, v. 6, n. 03, p. 269-279, 2004.

FREIRE, L. P.; MARRACCINI, P.; RODRIGUES, G. C.; ANDRADE, A. C. Análise da expressão do gene da manose 6 fosfato redutase em cafeeiros submetidos ao déficit hídrico no campo. **Coffee Science**, v. 8, n.1, p. 17-23, 2013.

GAGO, J.; DALOSO, D. M.; CARRIQUÍ, M.; NADAL, M.; MORALES, M.; ARAÚJO, W. L.; FLEXAS, J. The photosynthesis game is in the "inter-play": mechanisms underlying CO₂ diffusion in leaves. **Environmental and Experimental Botany**, v. 178, p. 104174, 2020.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C. Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v.65, n.66, p.42-45, 2005.

JONES, P.; JONES, J. W.; ALLEN, L. H. J. R. Seasonal carbon and water balances of *soy beans* grown under stress treatments in sunlit chambers. **Transactions of the ASAE**, v. 28, n. 6, p. 2021-2028, 1985.

LAWSON T, BLATT M. R. Stomatal size, speed, and responsiveness impact on photosynthesis and water use efficiency. **Plant physiology**, v. 164, n. 4, p. 1556-1570, 2014.

LUGOJAN, C. E CIULCA, S. Evaluation of relative water content in winter wheat. **Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology**, v. 15, n. 2, p. 173-177, 2011.

MIELKE, M. S.; SCHAFFER, B.; SCHILLING, A. C. Evaluation of reflectance spectroscopy indices for estimation of chlorophyll content in leaves of a tropical tree species. **Photosynthetica**, v. 50, n. 3, p. 343-352, 2012

MARIAS, D. E.; MEINZER, F. C.; STILL, C. Impacts of leaf age and heat stress duration on photosynthetic gas exchange and foliar nonstructural carbohydrates in *Coffea arabica*. **Ecology and Evolution**, v. 7, n. 4, p. 1297-1310, 2017

MAGRACH, A.; GHAZOUL, J. Mudanças geográficas causadas pelo clima e por pragas na produção global de café: Implicações para a cobertura florestal, biodiversidade e armazenamento de carbono. **PloS one**, v. 10, n. 7, p. 1-15, 2015.

- MARTIN-STPAUL N. K.; LONGEPIERRE, D.; HUC, R. DELZON, S. BURLET, R.; JOFFRE, R.; RAMBAL, S.; COCHARD, H. How reliable are methods to assess xylem vulnerability to cavitation? The issue of “open vessel” artifact in oaks. **Tree physiology**, v. 34, n. 8, p. 894-905, 2014
- MELO, E. F.; FERNANDES-BRUM, C. N.; PEREIRA, F. J.; CASTRO, E. M. D.; CHALFUN-JÚNIOR, A. Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar Siriema under drought conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 1, p. 25-33, 2014.
- 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.
- QUEIROZ-VOLTAN, R. B. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.
- SANTOS H. G.; JACOMINE K. T.; ANJOS L. H. C.; OLIVEIRA V. A.; LUMBRE J. F.; COELHO M. R.; ALMEIDA J. Á.; CUNHA T. J. F.; OLIVEIRA J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- SAS-Statistical Analyses System. **Statistical Analysis System user’s guide**. Versão 9.0. Institute, Statistical Analyses System, Cary, 2008.
- SIGMA, P. **Scientific Graphing Software**. Versão 12.0. *San Rafael*: Jandel Comporation, 2011.
- SILVA, Patricia Carvalho et al. Quinoa for the Brazilian Cerrado: Agronomic characteristics of elite genotypes under different water regimes. **Plants**, v. 10, n. 8, p. 1591, 2021.
- SILVA, F. A. M., EVANGESLISTA, B. A., MALAQUIAS, J. V., OLIVEIRA, ALEXSANDRA D. M., MULDER, A. G. Análise temporal de variáveis climáticas monitoradas entre 1974 e 2013 na Principal da Embrapa Cerrados. 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2017.
- SILVA, E.A. DA; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F.B.; PIRES, R.C. DE M. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, n.2,1678-4499, 2009.

TOMBESI, S.; NARDINI, A.; FRIONI, T., SOCCOLINI, M., ZADRA, C., FARINELLI, D., PONI, S., PALLIOTTI, A. Stomatal closure is induced by hydraulic signals and maintained by ABA in drought-stressed grapevine. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2015.

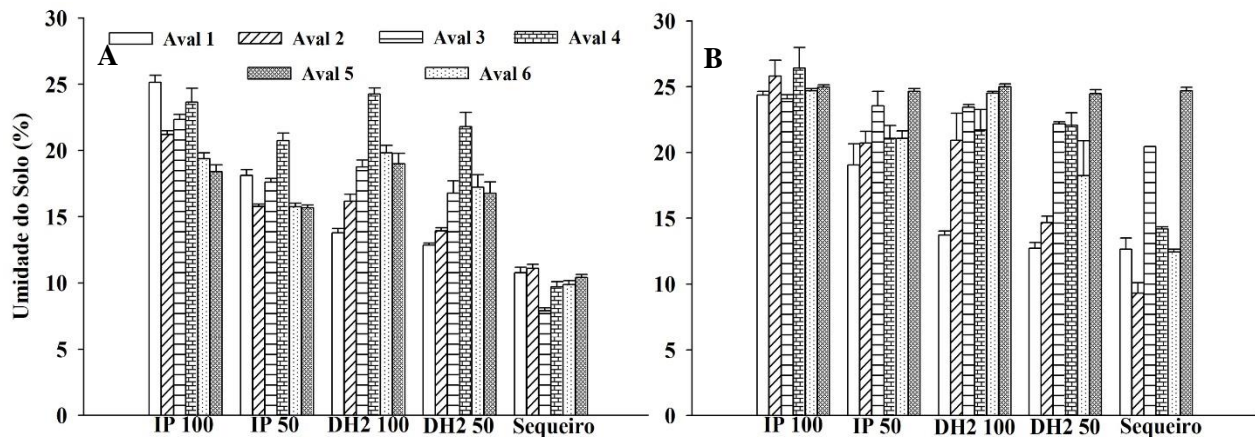
VEIGA, A. D., RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C., BARTHOLO, G. F., GUERRA, A. F., SILVA, T. P. D. Cultivares de café arábica em diferentes regimes hídricos na região do cerrado central. **Coffee Science**, v. 14, n. 3, p. 349 - 358, 2019.

WINTGENS J. N. **Coffee: Growing, processing, sustainable production**. Weinheim: Wiley-VCH, 2015.

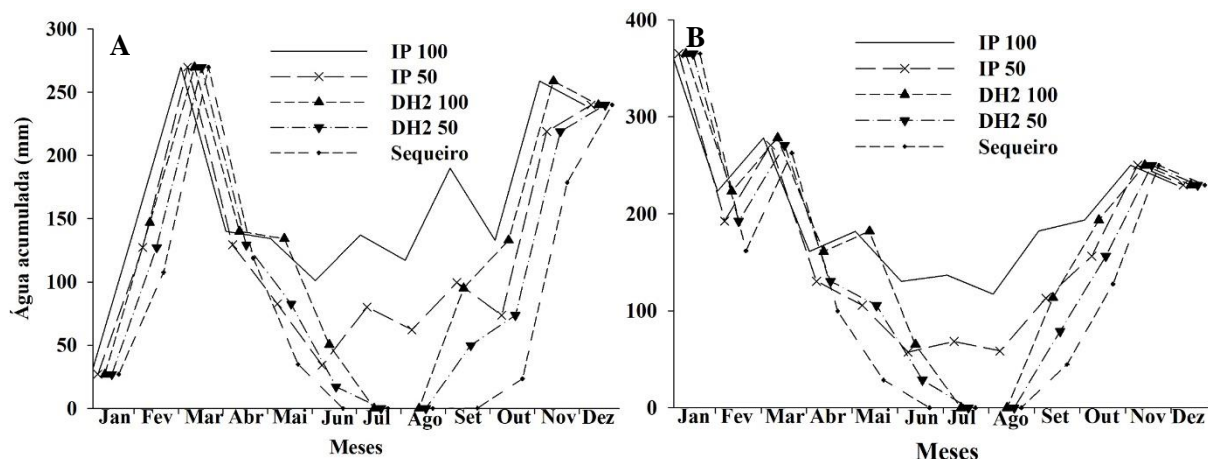
ZAIT, Y.; SHTEIN, I.; SCHWARTZ, A. (2019). Long-term acclimation to drought, salinity and temperature in the thermophilic tree *Ziziphus spina-christi*: revealing different tradeoffs between mesophyll and stomatal conductance. **Tree Physiology**, v. 39, n. 5, p. 701-716, 2019.

ZULLO, J.; PINTO, H. S.; ASSAD, E. D. Impact assessment study of climate change on agricultural zoning Meteorol. **Meteorological Applications**, v. 13, n. S1, p. 69-80, 2006.

APÊNDICES



APÊNDICE A - Umidade de solo cultivado com café sob diferentes regimes hídricos, nos anos de 2019 (A) e 2020 (B)



APÊNDICE B - Água acumulada nos tratamentos IP 100%, IP 50%, DH2 100%, DH2 50% e sequeiro, nos anos de 2019 (A) e 2020 (B).

APÊNDICES C - Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação de condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) e fotossíntese (*A*) de genótipos de café em função dos regimes hídricos, na avaliação 1 e 2.

Teste F						
FV	Avaliação 1			Avaliação 2		
	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>
Avaliação	281,37**	391,28**	1849,37**	10,38**	8,56**	254,40**
Genótipo 2019	8,94**	12,03**	3,53**	16,34**	20,06**	2,30ns
Irig*Aval	5,45**	9,25**	11,43**	3,27**	3,27**	7,77**
CV (%)	37,07	30,93	13,07	52,68	45,16	22,05
Avaliação	148,81**	219,00**	558,70**	279,78**	353,78**	2201,06**
Genótipo 2020	1,94ns	1,89ns	57,74**	3,10ns	4,55*	116,51**
Irig*Aval	18,75**	18,73**	27,25**	15,10**	16,78**	171,02**
CV (%)	37,95	29,64	10,49	27,55	25,62	4,66

gs – condutância estomática, *E* – transpiração, *A*- fotossíntese, CV- coeficiente de variação

APÊNDICES D - Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação de condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) e fotossíntese (*A*) de genótipos de café em função dos regimes hídricos, na avaliação 3 e 4.

Teste F							
FV		Avaliação 3			Avaliação 4		
		<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>
Avaliação		78,03**	2625,30**	2033,41**	151,00**	174,37**	842,09**
Genótipo	2019	1,20**	35,15**	12,04**	86,94**	102,31**	204,30**
Irig*Aval		3,84**	135,96**	109,66**	9,46**	12,08**	64,84**
CV (%)		48,72	8,41	8,25	19,18	16,04	4,78
Avaliação		154,4**	73,22**	109,30**	52,08**	59,73**	183,80**
Genótipo	2020	68,26**	59,25**	6,38**	7,35**	11,00**	11,61**
Irig*Aval		34,20**	21,60**	25,45**	15,71**	18,27**	24,72**
CV (%)		9,54	10,70	10,90	20,97	19,98	9,17

gs – condutância estomática, *E* – transpiração, *A*- fotossíntese, CV- coeficiente de variação

APÊNDICES E - Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação de condutância estomática (*gs*), transpiração (*E*) e fotossíntese (*A*) de genótipos de café em função dos regimes hídricos, na avaliação 5 e 6.

Teste F							
FV		Avaliação 5			Avaliação 6		
		<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>	<i>gs</i>	<i>E</i>	<i>A</i>
Avaliação		127,50**	124,44**	81,61**	147,76**	125,90**	104,32**
Genótipo	2019	108,75**	91,15**	42,68**	20,40**	17,73**	45,09**
Irig*Aval		118,86**	109,42**	30,69**	12,18**	17,70**	37,44**
CV (%)		14,17	12,98	12,41	13,69	10,31	5,50
Avaliação		217,82**	329,05**	864,13**	6,32**	11,81**	12,81**
Genótipo	2020	24,68**	28,68**	54,69**	4,99**	2,66**	6,64**
Irig*Aval		45,65**	51,17**	222,47**	8,09*	13,24**	2,96**
CV (%)		25,47	18,89	5,44	25,25	15,35	8,91

gs – condutância estomática, *E* – transpiração, *A*- fotossíntese, CV- coeficiente de variação

APÊNDICES F - Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação de conteúdo relativo de água (CRA) e produtividade de genótipos de café em função dos regimes hídricos.

		Teste F		
		Estresse	Recuperação	
FV		CRA	CRA	Produtividade
Irrigação		645,77**	300,30**	16,45**
Genótipo	2019	1,39ns	4,12*	5,49**
Irig*Gen		3,09**	1,62ns	2,62**
CV(%)		8,57	8,28	36
Irrigação		55,51**	1,62ns	13,75**
Genótipo	2020	4,89**	6,24**	12,88**
Irig*Gen		2,71*	0,63ns	6,38**
CV(%)		14,91	8,68	22,77

CRA- conteúdo relativo de água, CV- coeficiente de variação

CAPÍTULO II

EFEITOS DO ESTRESSE HÍDRICO NO CRESCIMENTO E UNIFORMIDADE DA COLHEITA DE GENÓTIPOS DE CAFÉ ARÁBICA NO CERRADO

RESUMO

As principais dificuldades enfrentadas pela cafeicultores em áreas de Cerrado está relacionada ao longo período de seca associado às altas temperaturas e o estresse hídrico durante a estação chuvosa. Com isso, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do emprego de diferentes níveis e durações de déficit hídrico sobre a maturação do cafeeiro, bem como sobre as características de crescimento e a produtividade dos grãos. O experimento foi composto por três genótipos de *Coffea arabica* e cinco regimes hídricos: irrigação plena (IP 100 e IP 50 - irrigação plena com 100% e 50% de reposição da evapotranspiração, respectivamente), deficiência hídrica (DH 100 e DH 50 - deficiência hídrica de junho a setembro, com reposição de 100% e 50% da evapotranspiração, respectivamente) e sequeiro. Dentro de cada experimento, utilizou-se blocos casualizados com quatro repetições e para a utilização do regime hídrico como fonte de variação foi feita a análise conjunta de grupo de experimentos. Foram avaliadas as variáveis morfológicas, produtividade e uniformidade da colheita. As variáveis de crescimento são maiores em déficit hídrico, com resultados inferiores apenas em sequeiro. A produtividade média do cafeeiro, em 2019, nos diferentes tratamentos variou de 14 para 120 sc ha⁻¹. O tratamento DH1 imposto nas plantas causou uma redução acentuada na produção dos grãos devido ao período prolongado sem irrigação, de abril a setembro. O Iapar 59 é um genótipo de alta produtividade e o E237 foi o genótipo menos produtivo. Os regimes com déficit hídrico contribuíram para a uniformidade dos frutos no momento da colheita do café e promoveram maior crescimento vegetativo das plantas.

Palavras-chaves: déficit hídrico, uniformidade da florada, crescimento.

4.1. INTRODUÇÃO

No século 21, em todo o mundo a agricultura enfrenta duas dificuldades principais: a expansão na produção de alimentos para atender à crescente população mundial e a baixa precipitação nas regiões agrícolas associada com a crescente escassez de recursos hídricos e temperatura elevadas. Para os produtores de café, a mudança climática é um grande desafio, devido ao fato do café ser classificado como uma espécie de planta altamente sensível ao déficit hídrico e a temperaturas elevadas (DA MATTA et al., 2010a; AHMED et al., 2021). A seca é considerada um dos principais fatores ambientais que limitam o crescimento e a produtividade do cafeeiro na maioria das áreas de cultivo de café, reduzindo a produtividade em até 80% em anos muito secos em algumas regiões marginais sem irrigação (DA MATTA e RAMALHO, 2006; OVALLE-RIVERA et al., 2015 ; MOAT et al., 2017).

O estresse por seca estimula a senescência precoce das folhas, principalmente naquelas fisiologicamente mais velhas (DA MATTA et al., 2010a) e prejudica o cafeeiro em todas as fases de seu ciclo, mas esses prejuízos são mais pronunciados durante a fase de enchimento dos grãos (DA MATTA et al., 2018). O declínio na disponibilidade de água na planta leva a danos moleculares, inibição do crescimento e até a morte (ASHRAF, 2010; MITTLER, 2002). Em geral, os períodos de seca severos podem levar à morte das plantas, enquanto os períodos de seca moderada também são muito prejudiciais aos cafeicultores, afetando a floração, o desenvolvimento dos grãos e, conseqüentemente, a produção de café (MARRACCINI et al., 2011).

Dado o aumento projetado das temperaturas médias e dos níveis de CO₂ atmosféricos , bem como regimes de precipitação mais variáveis (PACHAURI et al., 2014), é essencial entender como as mudanças climáticas estão impactando as diferentes culturas em vários sistemas de manejo, a fim de projetar estratégias baseadas em evidências para fortalecer a

resiliência da agricultura às mudanças globais (HAN et al., 2020). Portanto, uma melhor compreensão de respostas de crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas sob estresse hídrico é de extrema importância para ampliar o conhecimento acerca dos mecanismos que as plantas utilizam quando estão em condições de baixa disponibilidade hídrica. Com isso, o objetivo deste trabalho foi testar as seguintes hipóteses: (i) os períodos e intensidades de déficit hídrico exercem influência diferentes na maturação do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), (ii) os períodos e intensidades de déficit hídrico exercem influência diferentes nas características de crescimento vegetativo e na produtividade dos grãos do cafeeiro.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1. Caracterização da área experimental

O experimento foi realizado na Embrapa Cerrados - Planaltina DF (15° 35' S e 47° 42' W, a uma altitude de 1.007 m). A região é caracterizada com clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com temperaturas médias anuais de 21,1° C e precipitação média de 1.345mm. O período de chuvas ocorre entre outubro e abril e o período de seca entre maio e setembro (Figura 1). O solo da área experimental é classificado como LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico, com relevo suave-ondulado e textura argilosa (SANTOS et al., 2018).

4.2.3. Instalação do experimento

O experimento foi instalado em abril de 2015 em uma área de 7.359,5 m² (0,74ha⁻¹), dividida em sete experimentos, sendo seis irrigados e um sem irrigação (Figura 2). Cada experimento recebeu um regime hídrico com intensidade e duração diferente: IP 100 (irrigação plena com reposição de 100% da evapotranspiração), 2. IP 50 (irrigação plena com reposição

de 50% da evapotranspiração), 3. DH1 100 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de abril a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração, 4. DH1 50 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de abril a setembro e reposição de 50% da evapotranspiração), 5. DH2 100 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração, 6. DH2 50 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 50% da evapotranspiração) 7. Sequeiro (sem irrigação)).

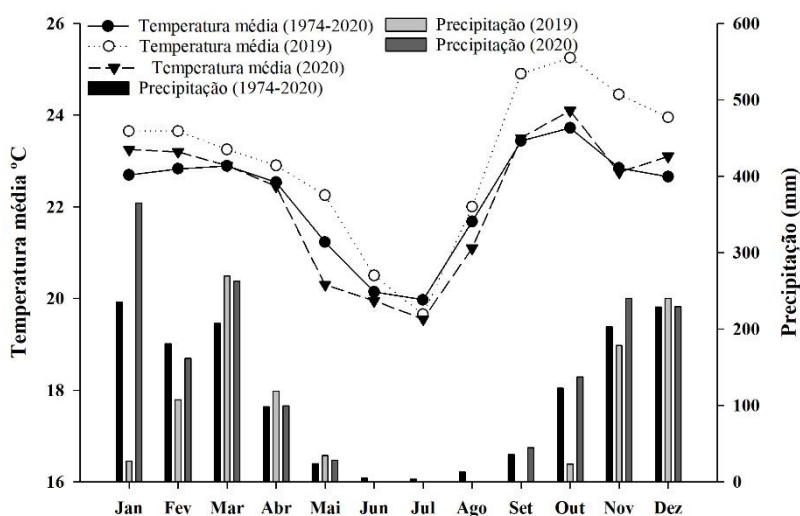


Figura 1. Dados de longo prazo de precipitação pluviométrica e temperaturas máximas e mínimas média dos últimos quarenta e seis anos (1974 a 2020) ocorridos na área experimental.

As mudas dos genótipos utilizados nos estudos foram produzidas por meio de sementes fornecidas pela Embrapa Café (introduções da Etiópia) e pelo IAPAR. São eles Iapar 59 (Sachimor e portador de genes da espécie *C. canephora*), Catuaí 62 (Caturra Amarelo IAC 476-11 com Mundo Novo) e E237 (acesso de *C. arabica* da Etiópia) sendo o Iapar 59 classificado como de tolerância intermediária (CARVALHO et al., 2017). Os genótipos foram plantados no espaçamento de 3,50 m entre linhas e 0,50 m entre plantas com uma densidade de 5.600 plantas por hectare. A parcela é formada por oito plantas, sendo utilizadas três para as avaliações.

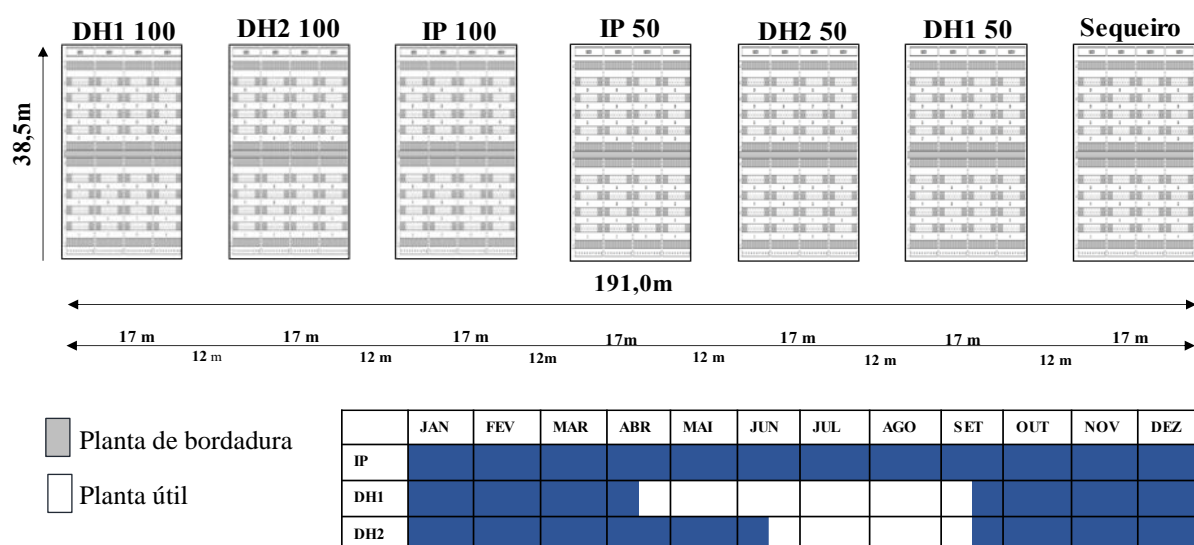


Figura 2. Croqui da área experimental

Os tratamentos receberam anualmente 400 kg ha^{-1} de N na forma de ureia e K_2O distribuídos em quatro dosagens nos meses de fevereiro, março, setembro e dezembro, 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 em duas dosagens, no qual $2/3$ foram aplicados em setembro e $1/3$ em dezembro 100 kg ha^{-1} de micronutrientes FTE BR 12 aplicados em dezembro. Os tratamentos com estresse hídrico iniciaram em abril de 2017, quando as plantas tinham cerca de dois anos. Entre 2017 e 2021 as plantas receberam uma lâmina média anual de água acumulada (precipitação + irrigação) de 1.706 mm (IP 100), 1.367 mm (IP 50), 1.435 mm (DH2 100), 1.217 mm (DH2 50), 1.270 mm (DH1 100), 1.137 mm (DH1 50) e 1.026 mm de precipitação (sequeiro). Nos regimes hídricos irrigados, o critério de manejo da irrigação foi o balanço hídrico do solo, baseado no Sistema de Monitoramento da Irrigação do Cerrado, que forneceu informações para determinar a quantidade de água e o intervalo (EMBRAPA, 2017).

4.2.4. Variáveis avaliadas

4.2.4.1. Avaliações de crescimento

As avaliações morfológicas foram realizadas nos meses de novembro e dezembro dos anos 2019 e 2020. As variáveis avaliadas foram: diâmetro do caule; altura da planta, medida do colo da planta até a gema apical do caule; comprimento do ramo plagiotrópico do terço médio da planta no lado direito (CP_D) e no lado esquerdo (CP_E); número de nós dos ramos plagiotrópicos no lado direito (NP_D) e no lado esquerdo da planta (NP_E); número de nós no ortotrópico (NNO); comprimento da copa (CC) em metros, obtido pela soma do diâmetro do caule com o comprimento dos ramos plagiotrópico direito e esquerdo.

4.2.4.2. Produtividade

Entre abril e junho de 2020 e 2021, os frutos das plantas úteis foram colhidos por derriça no pano, e o volume do café foi determinado em seguida. Amostras de café foram retiradas para avaliação da uniformidade de maturação dos frutos e determinação do percentual de grãos verde, cereja e seco. As amostras foram secas em terreiro e o volume e o peso de café em coco foram aferidos. O rendimento foi estimado a partir do beneficiamento dos grãos, com teor de umidade padronizado para 13% e a produtividade dos tratamentos foi calculada de acordo com o número de plantas por parcela. Ao final foi obtida a produtividade em sacas ha⁻¹ para cada genótipo nos diferentes tratamentos de irrigação.

4.2.5. Análise Estatística

Para análise estatística dos dados, os regimes hídricos e os genótipos foram considerados como fontes de variação. Devido à impossibilidade de casualizar os regimes hídricos, cada tratamento hídrico constitui um experimento com quatro repetições de cada material, constituindo um grupo de experimentos. Para a verificação de se proceder com a análise conjunta de grupos de experimentos foi realizado o teste F Máximo de Hartley. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e a comparação das médias foi feita

pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas pelo software estatístico SAS version 9.0 (SAS, 2008). As figuras foram produzidas usando o software Sigma Plot, versão 10 (SIGMA, 2011).

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1. Análise de variância

As análises de variância apresentadas nos APÊNDICES A e B mostram que houve interação significância entre os genótipos de café e os regimes hídricos para as variáveis estudadas. Algumas variáveis não apresentaram significância entre os genótipos CP_E, CP_D, NP_E, NNO (2019) e DC, CP_D, NP_D, NNO, CC (2020). Para o fator irrigação apenas as variáveis CP_E (2019) e DC (2020) não diferenciaram estatisticamente. Houve interação significativa entre os genótipos de café e os regimes hídricos para as variáveis estudadas.

4.3.2. Os efeitos dos regimes hídricos no crescimento dos genótipos de café

O crescimento do café pode ser influenciado por diversos fatores, dentre eles a seca que impacta diretamente no potencial fotossintético (SILVA et al., 2022) e conseqüentemente no desenvolvimento das plantas. Observou-se neste estudo que o diâmetro do caule é menor nas plantas de Iapar 59 em tratamentos irrigados, no entanto, ele se iguala aos demais genótipos no tratamento do sequeiro. Além disso, os regimes hídricos exercem pouca influência sobre o diâmetro do caule dos genótipos (Figura 3).

A altura da planta refere-se ao crescimento vegetativo das plantas em resposta aos insumos fornecidos e às condições ambientais bióticas e abióticas. Deste modo, os tratamentos com irrigação plena e déficits hídricos promoveram maior crescimento das plantas (Figura 3C e D). Por outro lado, as plantas sob sequeiro tiveram seu desenvolvimento comprometido

devido ao longo período sem precipitação (Figura 3 e 4), com uma redução de 20 a 31% da altura da planta quando comparadas com as plantas sob irrigação plena. A menor altura e comprimento dos ramos plagiotrópicos sob condição de seca é atribuída principalmente a redução da fotossíntese (SILVA et al., 2022) que afeta a produção de fotoassimilados pela planta, e como consequência direta, há diminuição na expansão, alongamento celular (MANIVANNAN et al., 2007; JALEEL et al., 2009) e enchimento dos grãos.

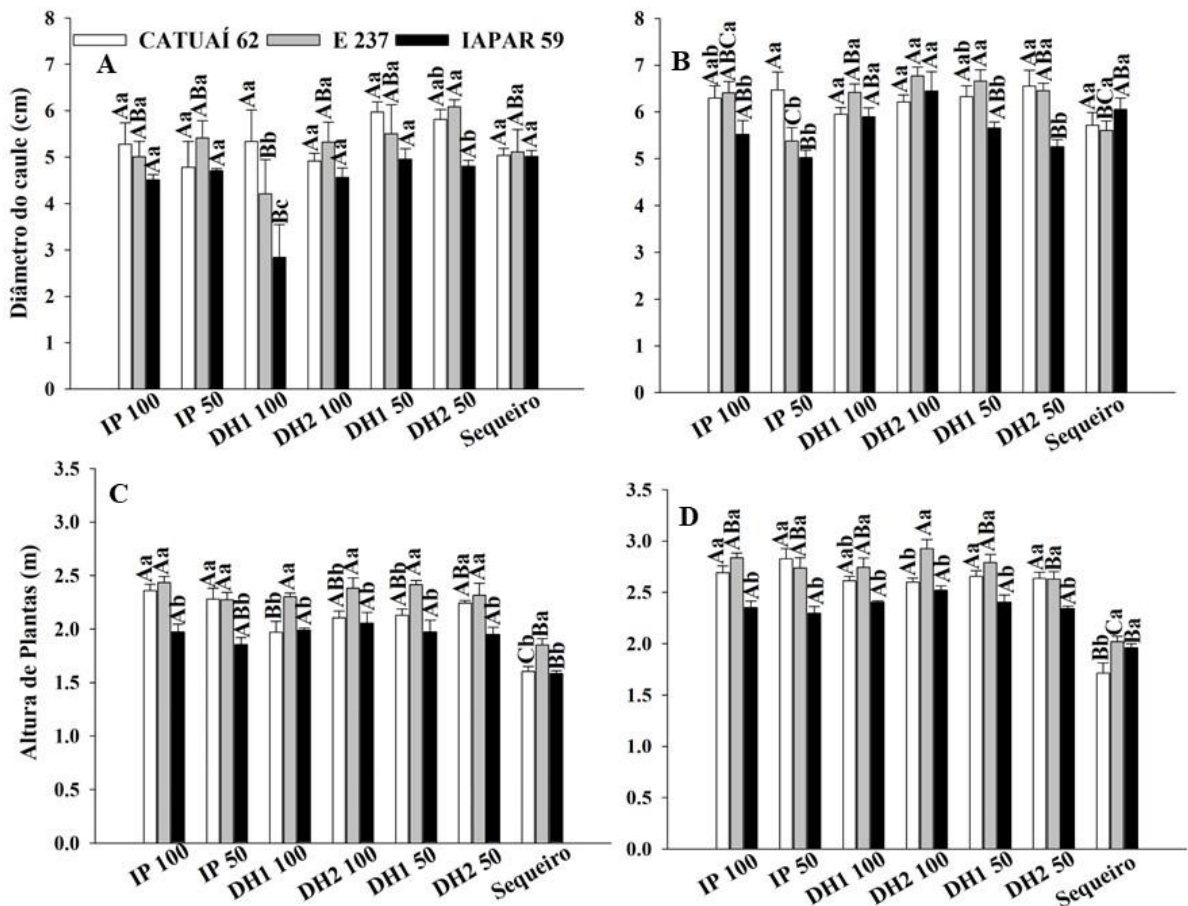


Figura 3. Diâmetro do caule (A e B) e altura de plantas (C e D), nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020. As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Além disso, quanto menor a arquitetura da planta menor será a área disponível para fotossíntese e produção de grãos. Estudos mostram que plantas sob déficit hídrico severo investem mais no alongamento da raiz do que na parte aérea que aumenta o potencial de absorção de água das camadas mais profundas do perfil do solo (BARROS; BARBOSA 1995; FIGUEIRÔA et al., 2004), refletindo diretamente na produtividade da cultura. Avaliou-se os genótipos dentro de cada regime e percebeu-se que a altura é uma característica intrínseca ligada a genética de cada material, onde o E237 e o Iapar 59 apresentam a maior e a menor altura, respectivamente, em todos os tratamentos (Figura 3A e B).

O comprimento de ramos apresentou resultado similar à altura das plantas, com menor crescimento em sequeiro e ramos maiores em tratamentos com déficit hídrico (Figura 4 A, B, C e D). Logo, sob irrigação plena e DH1, no ano de 2019 o genótipo Iapar 59 apresentou uma redução do crescimento e ramos maiores em sequeiro. De uma forma geral, o crescimento de ramos foi maior em tratamentos com déficit hídrico (Figura 4 A, B, C e D) e de acordo com Guerra et al. (2005) depois de quatro ciclos anuais de suspensão das irrigações, as plantas dos regimes hídricos sujeitos a estresse hídrico controlado apresentaram maior altura, número de ramos plagiotrópicos e número de nós nos ramos, quando comparadas às plantas do tratamento suspensão da irrigação promoveu um aumento no crescimento de ramos ortotrópicos e irrigado todo o ano. Resultados similares foram encontrados por Veiga et al. (2019), em que a plagiotrópicos após o reinício da irrigação, designado como crescimento compensatório.

O Iapar 59 é um genótipo que tem como característica menores ramos no plagiotrópico quando comparamos com os demais genótipos, no entanto, o menor comprimento dos ramos não influencia no número de nós e na produtividade deste genótipo. Além disso, sob sequeiro ele possui ramos e número de nós maiores que o Catuaí 62 e E237 (Figura 4) diferente do

ocorrido nos demais tratamentos. Deste modo, a imposição do déficit hídrico não foi prejudicial ao crescimento do Iapar 59.

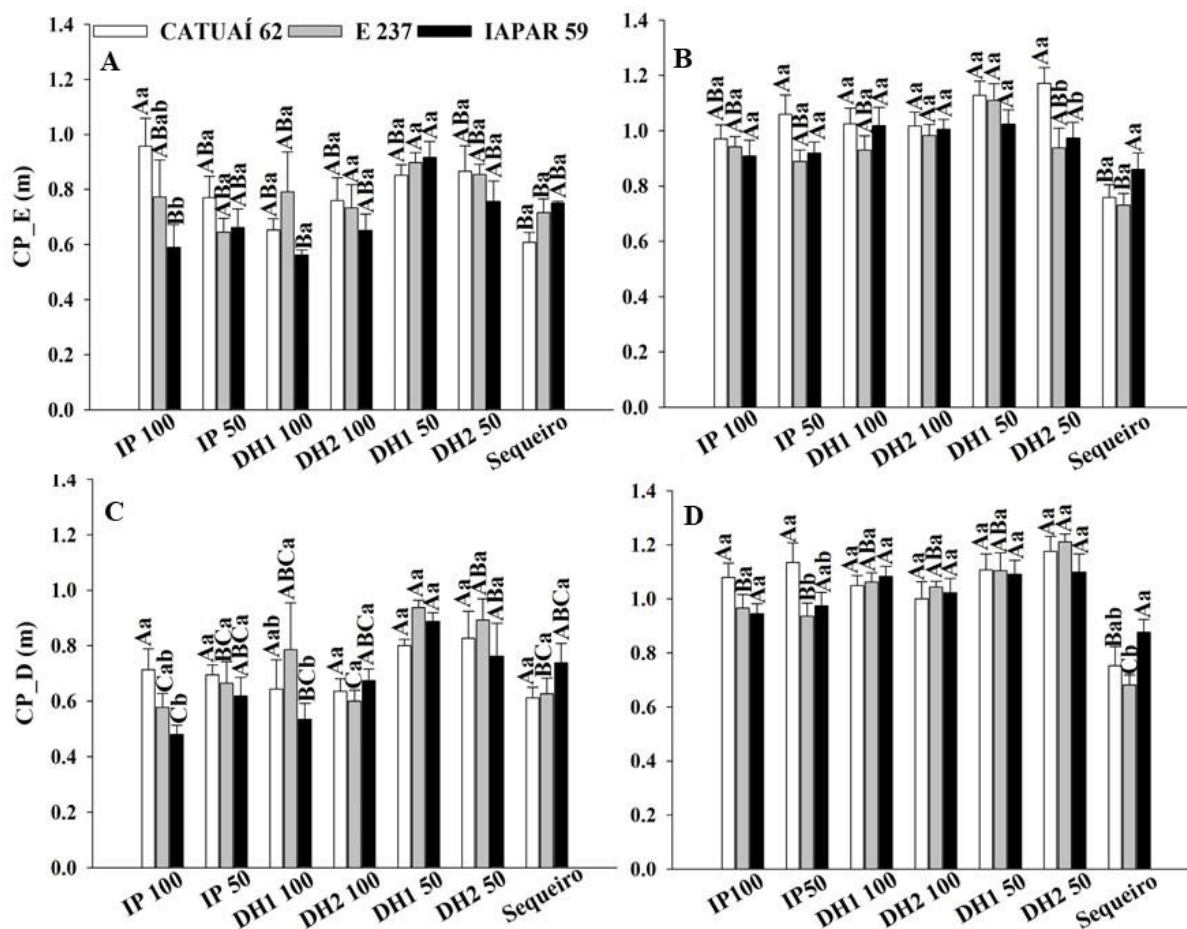


Figura 4. Comprimento do ramo plagiotrópico direito (A e B) e esquerdo (C e D) nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020. As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Avaliou-se o número de nós nos ramos plagiotrópicos esquerdo e direito e verificamos que, em 2020, os números de nós nos ramos esquerdos foram maiores nos tratamentos com déficit hídrico (Figura 5B) de forma similar ao comprimento de ramos. É válido ressaltar que dependendo do genótipo, o número de nós nos ramos plagiotropicos esquerdo e direito são maiores nos tratamentos com déficit com 50% da reposição hídrica, em vez dos de 100%

(Figura 5A, B, C e D). Os resultados evidenciam uma deficiência de nós dos ramos do E237 que foi inferior aos demais genótipos em sequeiro e nos IPs em 2020 (Figura 5).

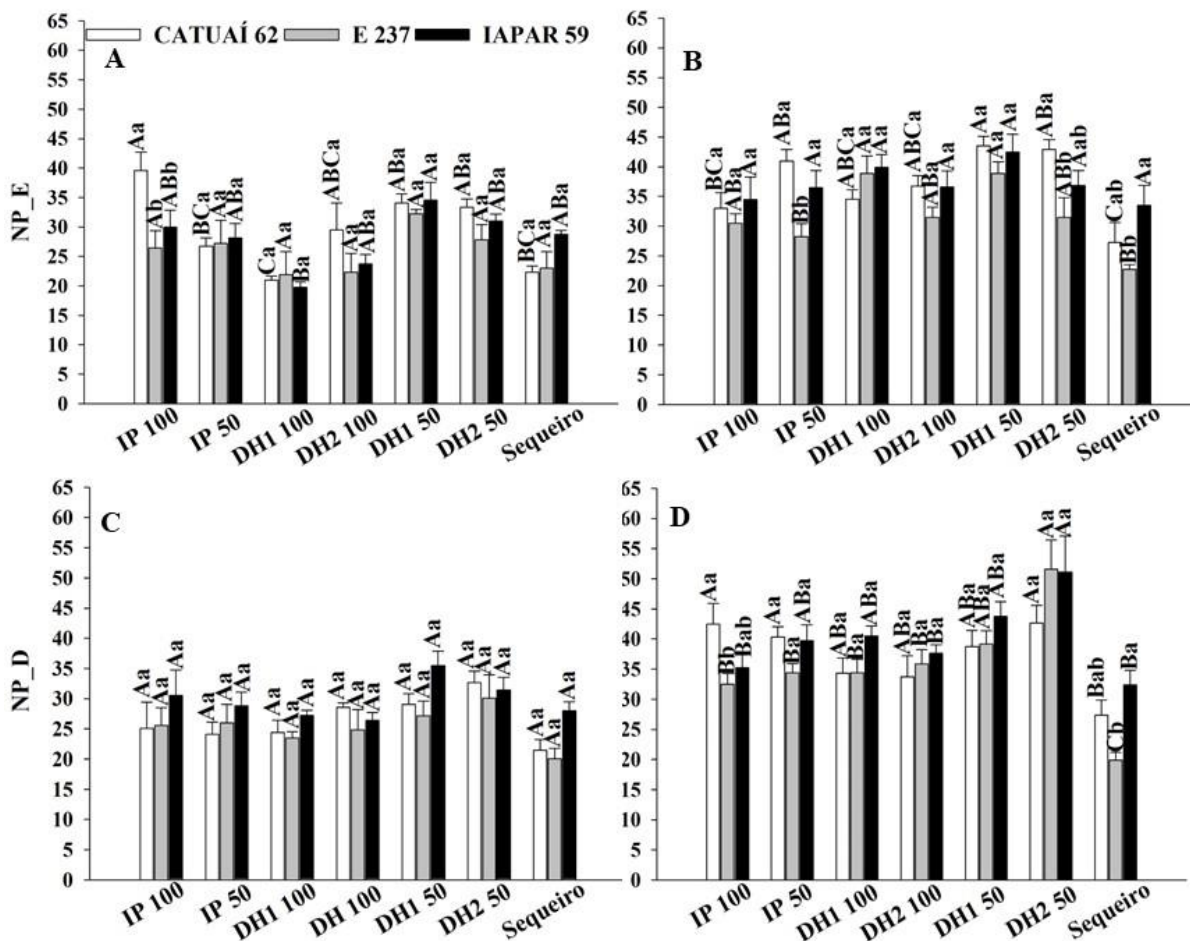


Figura 5. Número de nós nos ramos plagiotrópicos esquerdo (A e B) e direito (C e D) nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020. As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O número de nós no ramo ortotrópico (ONN) é uma variável importante, pois estima a quantidade de ramos produtivos (ramos plagiotrópicos) da planta (Figura 6A e B). Em 2019, os maiores números de nós foram no DH1 50, e os menores valores foram nos DH1 100, DH2 100 e sequeiro. Em 2020, os resultados são similares e somente as plantas sob tratamento sequeiro apresentam uma maior redução do número de nós. Como visto anteriormente, a imposição do

déficit hídrico controlado não causa danos ao crescimento vegetativo das plantas de café. Por outro lado, o déficit hídrico durante o período de seca causa séria redução no crescimento e produtividades das culturas. De acordo com Soares et al. (2005), a redução no crescimento dos ramos de café resulta em menor produção de nós disponíveis para formação de gemas, o que consequentemente reduz a produção de frutos. De acordo com Da Matta (2004), a deficiência hídrica afeta o desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro e reduz a área foliar.

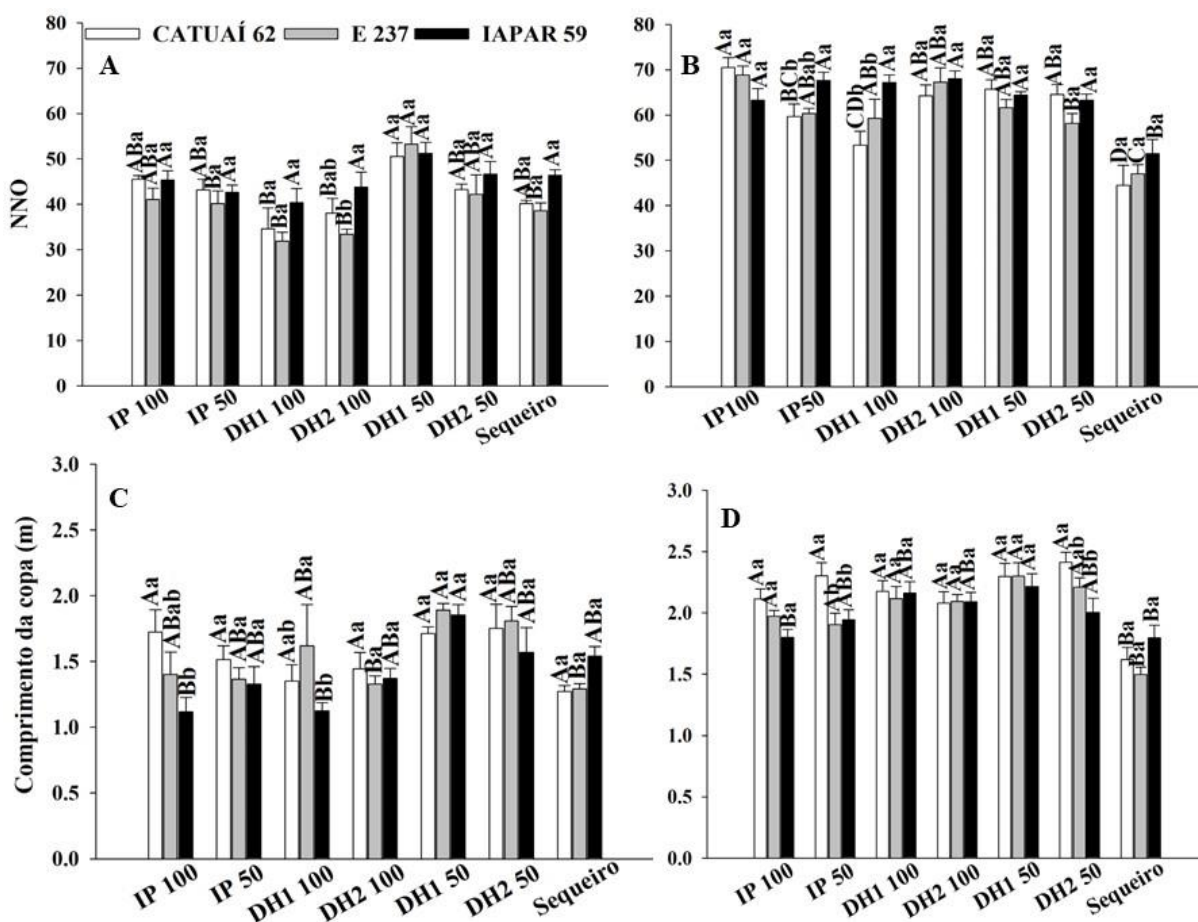


Figura 6. Número de nós nos ramos ortotópicos (A e B) e comprimento da copa (C e D) nos anos de 2019 e 2020, respectivamente, de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2019 e 2020. As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

O comprimento da copa (CC) dos genótipos é influenciado diretamente pelo comprimento dos ramos e diâmetro do caule. Deste modo, o maior CC é encontrado nos

tratamentos com déficit (Figura 6) e o menor foi no sequeiro 2020 e no genótipo Iapar 59, independente do tratamento. Por meio das variáveis morfológicas podemos perceber que os tratamentos com déficit hídrico não afetam negativamente o desenvolvimento da cultura. Pois, sob déficit hídrico os genótipos tiveram maiores alturas, comprimento de ramos e números de nós.

4.3.3. Baixa disponibilidade de água leva à redução da produtividade?

A produtividade do cafeeiro nos diferentes tratamentos variou de 14 sc ha⁻¹ em sequeiro para 120 sc ha⁻¹ em irrigação plena, no ano de 2020. Neste mesmo ano, é possível separar a produtividade dos genótipos em três grupos para os regimes hídricos: alta produtividade (IP 100); mediana produtividade (IP 50, DH2 e DH1 100) e baixa produtividade (sequeiro, DH2 e DH1 50) (Figura 7). Por sua vez, em 2021, a produtividade foi maior no tratamento com déficit hídrico moderado, assim como observado por Guerra et al. (2005). O IP 100 e os tratamentos com 50% da evapotranspiração tiveram uma produção mediana e a menor performance foi observada no sequeiro e DH1 100, a depender do genótipo.

De acordo os dados obtidos neste trabalho, em ano de bienalidade negativa (2021) é possível observar um efeito maior da bienalidade no IP 100 e nestes mesmos anos o DH2 100 expressou melhor seu potencial produtivo comparado com os outros tratamentos. Os genótipos E237, Iapar 59 e Catuaí 62 sob DH2 100 tiveram um incremento de 66, 37 e 40% na produtividade dos grãos quando comparado com o as plantas em sequeiro (Figura 7A). Esses dados mostram a importância da irrigação, pois o DH1 50 mesmo com pequenas quantidades de água foi mais produtivo que o sequeiro. Portanto, o emprego da irrigação de forma correta e que permite a sustentabilidade do sistema de produção é fundamental para garantir a produtividade das lavouras no Cerrado. Em sequeiro, além do déficit hídrico as plantas são

expostas a temperaturas máximas superiores a 33°C, no período de setembro e outubro, podendo levar a queima e abortamento dos botões florais.

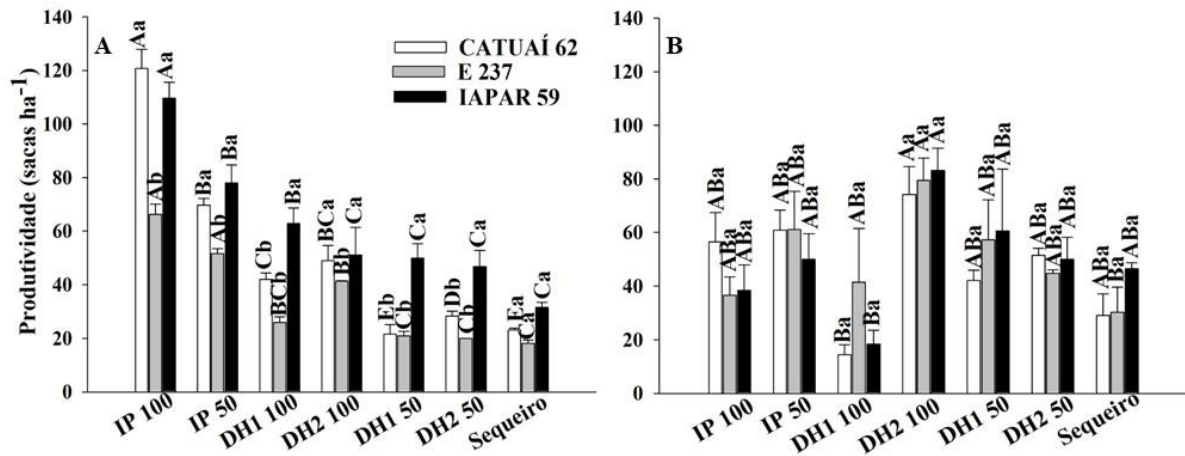


Figura 7. Produtividade (sacas/ha⁻¹) de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2020 (A) e 2021 (B). As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Além disso, a escassez hídrica provocada pelos veranicos durante, principalmente, a fase de floração, expansão e granação dos grãos resulta em baixa produtividade nas plantas em sequeiro. Devido ao tamanho dos frutos ser fortemente influenciado pelas condições hídricas da planta, pois em condições adequadas de umidade ocorre a maior expansão nos frutos que produzem um tamanho maior (REZENDE et al., 2010), pois a água é responsável pela expansão do endocarpo por meio da pressão de emergência antes da lignificação, influenciando no tamanho da semente (RENA; MAESTRI, 2000).. O tratamento DH1 imposto nas plantas causou uma redução acentuada na produção dos grãos devido ao período prolongado sem irrigação (Figura 7A), indicando que o déficit hídrico severo pode ter afetado o florescimento das plantas. Do mesmo modo, Aparecido e Rolim (2018) avaliando déficit hídrico mensais em

café, mostraram que o déficit hídrico em abril, durante o crescimento das gemas, tem grande influência na produtividade do café em épocas de baixa produtividade. Já o déficit hídrico em junho e setembro (ao final da dormência das gemas) influenciou positivamente a produtividade de café. Esses resultados reforçam a importância da rega tipo DH2 100 correta na lavoura cafeeira nessa região.

O DH2 100 apresentou uma queda de produtividade em relação ao IP 100 em 2020, por sua vez na safra seguinte ele foi superior. Embora, seja mais produtivo em algumas safras o tratamento de IP 100, segundo Guerra et al. (2005), não é recomendado para o plantio de café no Cerrado devido as lavouras irrigadas o ano todo apresentarem diversas floradas durante o ciclo de produção. Houve uma porcentagem de grãos cereja em torno de 60% nos genótipos E237 e Iapar 59 e 80% no Catuaí 62. Por sua vez, o DH2 100 resultou em florada única e uniforme com percentual de cereja superior a 80% (Figura 7). Guerra et al. (2005) e Veiga (2018) associam o alto rendimento nos tratamentos com o uso de estresse hídrico por cerca de 70 dias ao melhor enchimento de frutos de café devido à uniformidade de maturação, bem como maior crescimento vegetativo das plantas.

Comparando os genótipos dentro de cada tratamento observamos que o Iapar 59 é um genótipo de alta produtividade, o Catuaí e o E237 apresentam produtividade inferiores. Essa produtividade mais baixa do E237 está associada ao comprimento dos ramos, número de nós nos ortotrópico e nos ramos plagiotrópicos serem menores que interfere diretamente na produtividade dos grãos devido a menor presença de gemas reprodutivas. No entanto, apesar da baixa produtividade, pode ser utilizado em programas de melhoramento de plantas como fonte de tolerância à seca.

O Iapar 59, em geral, teve melhor performance nos tratamentos com déficit hídrico e sequeiro, que os demais genótipos, e menores produtividade em irrigação plena (FI 100 e 50%).

De acordo com Silva et al., (2022) o genótipo Iapar 59 desenvolve bem em condições irrigadas, sob déficit hídrico e em sequeiro. E nos trabalhos de Carvalho et al., (2017) e Freire et al., (2013) este genótipo foi considerado como tolerante à seca.

A expressão fenotípica por ser uma característica relacionada ao desempenho dos cultivares no seu ambiente de cultivo indica o potencial de adaptabilidade e estabilidade, onde um genótipo ideal é aquele que apresenta alta produtividade, associada à alta estabilidade em condições desfavoráveis, e é capaz de responder satisfatoriamente a ambientes favoráveis (DUTRA et al. 2021). Do ponto de vista ecofisiológico, cultivares de café tolerantes à seca são capazes de manter um melhor estado hídrico do que suas contrapartes sensíveis à seca durante períodos de seca de longo prazo, o que tem sido atribuído a uma combinação de enraizamento profundo e controle estomático adequado da transpiração (DA MATTA et al., 2003; PINHEIRO et al., 2005; SILVA et al., 2022).

4.3.4. O sequeiro é sustentável?

No sistema sequeiro, as plantas foram cultivadas apenas com a água das precipitações, ou seja, dependendo do ano tiveram uma seca de quatro a cinco meses. Com uma precipitação média anual ao longo dos anos (2017 a 2021) de 1.026 mm que está abaixo do necessário para o cultivo de café que fica num intervalo de 1.200-2.700 mm e um período seco de 1 a 3 meses por ano (OVALLE-RIVERA et al., 2015). Além disso, no período sem chuva ocorre temperaturas elevadas que podem chegar às temperaturas máximas superiores a 33°C (Figura 1) e a associação desses dois fatores pode levar à queima e abortamento das flores, pois coincidem com o período de pré-floração, floração e pós-florada. Particularmente nos trópicos, os episódios de seca são notavelmente agravados tanto pela alta radiação solar quanto pela alta

temperatura, de modo que a seca deve ser considerada como um estresse multidimensional (DA MATTA, 2003).

Diante disso, as plantas sob sequeiro têm o seu crescimento e produção comprometidos pela má distribuição das chuvas (Figura 3 e 4), com uma redução de até 31% da altura da planta quando comparadas com aquelas sob irrigação plena além de uma maior redução do número de nós. De acordo com Da Matta (2004), a deficiência hídrica afeta o desenvolvimento da parte aérea do cafeeiro e reduz a área foliar. Com a redução no crescimento dos ramos de café há uma menor produção de nós disponíveis para formação de gemas, o que conseqüentemente reduz a produção de frutos.

Além disso, a escassez hídrica provocada pelos veranicos durante, principalmente, a fase de floração, expansão e granação dos grãos resulta em baixa produtividade nas plantas em sequeiro devido ao tamanho dos frutos ser fortemente influenciado pelas condições hídricas da planta, pois em condições adequadas de umidade ocorre a maior expansão nos frutos que produzem um tamanho maior (DA MATTA et al., 2018). Conforme mostrado acima, a seca é o principal fator ambiental que afeta o cultivo de café, na maioria das áreas de produção, com reduções acentuadas na produtividade de até 66% em sequeiro. Esses dados mostram o quanto essas condições estressantes representam desafios significativos para a sustentabilidade da produção agrícola em escala global, impactando quantitativa e qualitativamente as culturas cultiváveis em suas áreas de produção atuais (DA MATTA et al., 2010b).

4.3.5 Os tratamentos com déficit hídrico uniformizam a florada do café?

A uniformidade da colheita avaliada nestes experimentos é um indicador de qualidade dos grãos (Figura 8), pois espera-se uma melhor qualidade da bebida em áreas com maior percentual de frutos maduros no momento da colheita. Os frutos colhidos antes do período ideal produzem uma bebida de qualidade inferior (FAGAN et al. 2011) e não agrega valor ao

produto (GIOMO; BORÉM, 2011) e promovem um aumento do custo da produção de café, uma vez que mais de uma operação de colheita será necessária, o que também pode causar danos mecânicos aos cafeeiros (RENA; BARROS, 2004; GUERRA et al. 2006).

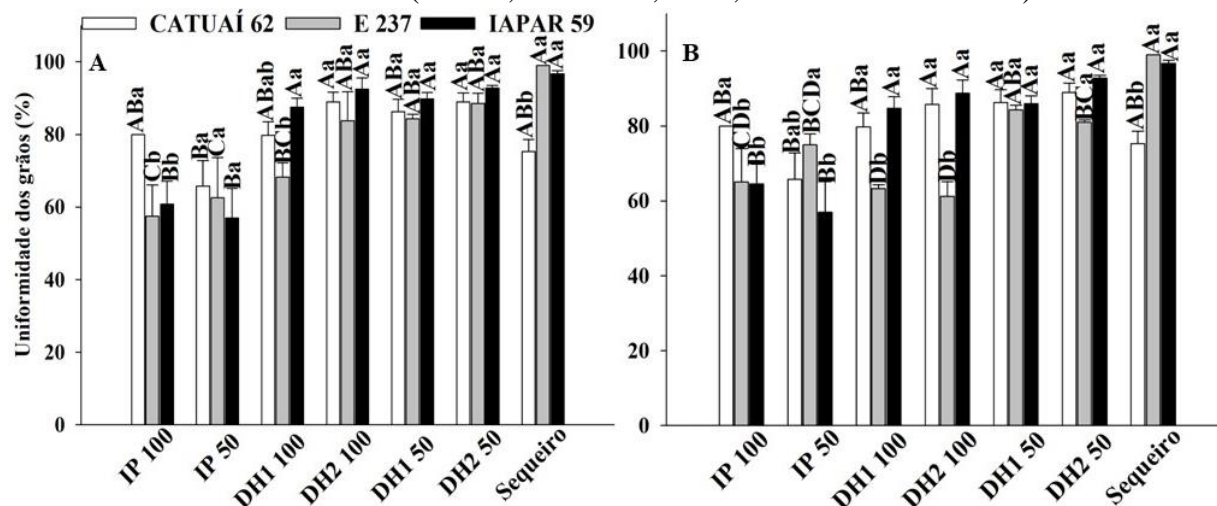


Figura 8. Uniformidade dos grãos (%) de três genótipos de café (Iapar 59, Catuaí 62 e E237) submetidos a sete regimes hídricos (IP 100%, IP 50%, DH1 100%, DH2 100%, DH1 50%, DH2 50% e sequeiro), durante o estresse nos tratamentos com déficit hídrico, em 2020 (A) e 2021 (B). As letras maiúsculas comparam os regimes hídricos para cada genótipo e as letras minúsculas comparam os genótipos dentro de cada regime hídrico. As mesmas letras não diferem umas das outras pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Houve uma porcentagem de grãos cereja em IP 100 em torno de 60% nos genótipos E237 e Iapar 59 e 80% no Catuaí 62. Por sua vez, o DH2 100 resultou em florada única e uniforme com percentual de cereja superior a 80% (Figura 8). Esse fato mostra a importância de se utilizar o estresse hídrico durante a pré-floração como método de uniformização da florada para que no momento da colheita se tenha áreas com uma maior porcentagem de grãos cerejas como mostram os nossos resultados na figura 8.

Do mesmo modo, Souza et al. (2014) observaram que um déficit hídrico aplicado na fase de pré-floração aumentou significativamente a porcentagem de cerejas maduras para seis dos nove clones de café conilon testados em comparação com o tratamento continuamente regado. Ronchi et al., (2015) constatou que os tratamentos com algum nível de déficit

apresentaram elevada uniformidade da florada (~98%), em ambos os genótipos, assim como o observado no presente trabalho para os três genótipos estudados.

Da mesma forma, Silva et al. (2009) encontraram em várias regiões cafeeiras no Estado de São Paulo com menor porcentagem de cerejas em tratamentos irrigados ou com baixo nível de déficit hídrico na pré-florada. O genótipo E237 apresenta um menor percentual de grãos cerejas nos tratamentos com déficit hídrico por apresentar uma maior precocidade e no momento da colheita um percentual considerável de grãos já estavam secos (Figura 8). Deste modo, a colheita desse genótipo deverá ser feita mais cedo.

É válido destacar que os tratamentos sob déficit hídrico têm uma colheita única e mais precoce que os IPs, que por sua vez, tiveram várias floradas ao longo do ciclo e no momento da colheita havia um percentual alto de grãos verdes. Deste modo, para cafeeiros irrigados a imposição do déficit hídrico controlado por meio da suspensão das irrigações a partir de 15 de junho até início de setembro resulta em sincronização dos botões florais com uma floração única e uma maior produção de grãos cerejas no Cerrado. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Guerra et. al. (2005) em cafeeiros irrigados e bem conduzidos no Cerrado, onde a suspensão das irrigações a partir de 15 de junho até o potencial de água na folha atingir -2,0 MPa, resultou em sincronização do desenvolvimento dos botões florais causando floração única e uniforme.

4.4. CONCLUSÕES

1. Os regimes com déficit hídrico controlado por irrigação contribuíram para a uniformidade da colheita do café com maiores percentuais de grãos cereja e promoveram maior crescimento vegetativo das plantas de café.

2. Dentre os genótipos avaliados o Iapar 59 é o mais produtivo em condição de estresse e sequeiro no Cerrado. E o E237 é um genótipo com menor produtividade dos grãos.

3. O tratamento com irrigação plena e déficit hídrico moderado promoveram maiores produtividades, por sua vez o déficit hídrico severo promoveu redução significativa da produção. O uso de sistema de irrigação é indispensável para cultivo de alta produção de café no Cerrado, com qualidade do produto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; DE MORAES, G.; LEONARDO, J.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

APARECIDO, E. O.; ROLIM, G. S. Forecasting of the annual yield of Arabic coffee using water deficiency. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n.1, p. 1299-1310, 2018.

AHMED, S.; BRINKLEY, S.; SMITH, E.; SELA, A.; THEISEN, M.; THIBODEAU, C.; CASH, S. B. Climate Change and Coffee Quality: Systematic Review on the Effects of Environmental and Management Variation on Secondary Metabolites and Sensory Attributes of *Coffea arabica* and *Coffea canephora*. **Frontiers in plant science**, v. 12, p. 2120, 2021.

ASHRAF, M. 2010. Inducing drought tolerance in plants: Some recent advances. **Biotechnology Advance**, v. 28, n. 1, p. 169-183, 2010.

BARROS, L. M.; BARBOSA, D. C. A. Crescimento de *Acacia farnesiana* (L.) Willd em casa de vegetação. **Phyton**. v. 57, n. 1, p. 179-191, 1995.

CARVALHO, F. G.; SERA, G. H.; ANDREAZI, E.; SERA, T.; FONSECA, I. C. D. B.; CARDUCCI, F. C.; COSTA, K. C. Tolerância ao déficit hídrico em mudas de genótipos de café portadores de genes de diferentes espécies. **Coffee Science**, v.12, n.2, 156-163, 2017.

DA MATTA, F. M.; AVILA, R. T.; CARDOSO, A. A.; MARTINS, S. C.; RAMALHO, J. C. Physiological and agronomic performance of the coffee crop in the context of climate change and global warming: A review. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.

DA MATTA, F. M.; RONCHI, C. P.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Coffee: Environment and Crop Physiology. In **Ecophysiology of Tropical Tree Crops**; DA MATTA, F. M., (Ed.). New York: Nova Science Publishers, 2010a. p. 181– 216.

DAMATTA, F. M.; GRANDIS, A.; ARENQUE, B. C.; BUCKERIDGE, M. S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, 2010b.

DA MATTA, 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.

DA MATTA, F. M. Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field crops research**, v. 86, n. 2-3, p. 99-114, 2004.

DA MATTA, F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: HEMANTARANJAN, A. (Ed.). **Advances in Plant Physiology**, Jodhpur, Índia: Scientific Publishers, 2003. p. 227-265.

DUTRA FILHO, J. D. A.; GOMES-SILVA, F.; SOUTO, L. S.; SOUZA, A. D. S.; DE LUNA, R. G.; MOREIRA, G. R.; JÚNIOR, T. C. Energy Cane x Sugarcane Microregion Interaction in the State of Pernambuco: Sugarcane for Production of Bioenergy and Renewable Fuels. **Agronomy**, v. 11, n. 6, p. 1046, 2021.

Embrapa – Empresa brasileira de pesquisa agropecuária., “**Monitoramento de irrigação no Cerrado**,” 2017. [Online]. Available: <http://hidro.cpac.embrapa.br>.

FAGAN, E. B.; DE SOUZA, C. H. E.; PEREIRA, N. M. B.; MACHADO, V. J. Efeito do tempo de formação do grão de café (*Coffea* sp.) na qualidade da bebida. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 5, 729-738, 2011.

FIGUEIRÔA, J. M.; BARBOSA, D.C. A.; SIMABUKURO, E. A. Growth of young plants of *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae), under water stress. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, n. 1, p. 573-580, 2004.

FREIRE, L. P.; MARRACCINI, P.; RODRIGUES, G. C.; ANDRADE, A. C. 2013. Analysis of the mannose 6 phosphate reductase gene expression in coffee trees submitted to water deficit. **Coffee Science**, v. 8, p. 17–23, 2013.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M. Cafés especiais no Brasil: opção pela qualidade. **Informe Agropecuário**, v. 32, n. 261, p. 7-16, 2011.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C., SANZONOWICZ, C. (2006) Manejo da irrigação do cafeeiro, com estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: Zambolim L (ed), **Boas Práticas Agrícolas na Produção de Café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.83-116.

GUERRA, A. F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G.C. Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, v. 65/66, n. 1, p. 42-45, 2005.

HAN, W.; AHMED, S.; WEI, C.; ORIAN, C. M.; LANDI, M. Responses of tea plants to climate change: From molecules to ecosystems. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 594317, 2020.

JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A., FAROOQ, M., SOMASUNDARAM, R., PANNEERSELVAM, R. Drought stress in plants: a review on morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 11, n. 1, p. 100–105, 2009.

MANIVANNAN P., JALEEL C. A., SANKAR B., KISHOREKUMAR A., SOMASUNDARAM, R.; LAKSHMANAN, G. A.; PANNEERSELVAM, R. Growth, biochemical modifications and proline metabolism in *Helianthus annuus* L. as induced by drought stress. **Colloids and Surface B: Biointerfaces**, v. 59, n. 2, 141-149, 2007.

- MARRACCINI, P. FREIRE, L.P.; ALVES, G.S.C.; VIEIRA, N.G.; VINECKY, F.; ELBELT, S.; RAMOS, H.J.O.; MONTAGNON, C.; VIEIRA, L.G.E.; LEROY, T.; POT, D.; SILVA, V.A.; RODRIGUES, G.C.; ANDRADE, A.C. 2011. RBCS1 expression in coffee: *Coffea* orthologs, *Coffea arabica* homeologs, and expression variability between genotypes and under drought stress. **BMC Plant Biology**, v. 11, p. 1-23, 2011.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends Plant Science**, v. 7, p. 405-410, 2002.
- MOAT, J.; WILLIAMS, J.; BAENA, S.; WILKINSON, T.; GOLE, T. W.; CHALLA, Z. K.; DAVIS, A. P. Resilience potential of the Ethiopian coffee sector under climate change. **Nature plants**, v. 3, n. 7, p. 1-14, 2017.
- OVALLE-RIVERA, O.; LÄDERACH, P.; BUNN, C.; OBERSTEINER, M.; SCHROTH, G. Projected shifts in *Coffea arabica* suitability among major global producing regions due to climate change. **PLoS One**, v. 10, n. 4, p. e0124155, 2015.
- PACHAURI, R.; MAYER, L.; 2014. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Synthesis Report, Geneva, SWI.
- 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.
- RENA, A. B.; BARROS, R. S. Aspectos críticos no estudo da floração do café. In: Zambolim L (ed), **Efeitos da Irrigação Sobre a Qualidade e Produtividade do Café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2004. p.149-172.
- RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 34-41, 2000.
- REZENDE, F. C; ARANTES, K. R; OLIVEIRA, S. R.; FARIA, M. A. Cafeeiro recepado e irrigado em diferentes épocas: produtividade e qualidade, **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 229-236, 2010.

- RONCHI, Cláudio Pagotto et al. Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 1, p. 24-32, 2015.
- SANTOS H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**, 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013.
- SAS-Statistical Analyses System. **Statistical Analysis System user's guide**. Versão 9.0. Institute, Statistical Analyses System, Cary, 2008.
- SIGMA, P. **Scientific Graphing Software**. Versão 12.0. *San Rafael*: Jandel Comporation, 2011.
- SILVA, P. C.; JUNIOR, W. Q. R.; RAMOS, M. L. G.; ROCHA, O. C.; VEIGA, A. D.; SILVA, N. H.; VINSON, C. C. Physiological changes of Arabica coffee under different intensities and durations of water stress in the Brazilian cerrado. **Plants**, v. 11, n. 17, p. 2198, 2022.
- SILVA, E. A.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, n. 1, p.493-501, 2009.
- SOARES, A. R, MANTOVANI, E. C, RENA, A. B, SOARES, A. A. Irrigação e fisiologia da floração em cafeeiros adultos na região da zona da mata de Minas Gerais. **Acta Science Agronomy**, v. 27, n.1, p.117-125, 2005.
- SOUZA, J. M.; BONOMO, R.; MAGIERO, M.; BONOMO, D. Z. Interrupção da irrigação e maturação dos frutos de café Conilon. **Científica**, v. 42, n. 2, p. 170-177, 2014.
- VEIGA, A. D.; RODRIGUES, G. C.; ROCHA, O. C.; BARTHOLO, G. F.; GUERRA, A. F.; SILVA, T. P. D. Cultivares de café arábica em diferentes regimes hídricos na região do cerrado central. **Coffee Science**, v. 14, n. 3, p. 349 - 358, 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação do diâmetro do caule (DC), altura, comprimento do plagiotrópico esquerdo (CP-E) e direito (CP-D), número de nós no plagiotrópico esquerdo (NP-E) e direito (NP-D), número de nós do ortotrópico (NNO) e comprimento da copa (CC) de genótipos de café em função dos regimes hídricos.

		Teste F							
FV		DC	Altura	CP-E	CP-D	NP-E	NP-D	NNO	CC
Irrigação		3,10*	11,71**	2,37ns	4,95**	6,19**	6,20**	3,53*	14,10**
Genótipo	2019	6,82*	25,83**	1,77ns	0,82ns	2,35ns	8,80**	1,13ns	8,51**
Irig*Gen		1,99*	2,14*	1,55*	1,80*	1,37*	2,62*	2,04*	2,68*
CV (%)		12,91	6,06	18,30	16,96	19,03	17,18	15,44	13,17
Irrigação		1,23ns	13,17**	7,42**	10,23**	5,32**	8,68**	8,78**	8,03**
Genótipo	2020	3,57ns	12,28**	3,80**	0,72ns	6,33*	2,65ns	1,64ns	2,64ns
Irig*Gen		3,17**	3,98**	1,21*	1,60*	1,81*	1,68*	2,69**	1,87*
CV (%)		11,20	6,36	15,66	14,57	19,32	20,32	10,71	12,56

DC-diâmetro do caule, comprimento do plagiotrópico esquerdo (CP-E) e direito (CP-D), número de plagiotrópico (NP-E) esquerdo e (NP-D) direito, NNO-número de nós no ortotrópico, CC-comprimento da copa.

APÊNDICE B. Resumo da análise de variância com valores de F e coeficiente de variação de produtividade e % de grãos cereja de genótipos de café em função dos regimes hídricos.

		Teste F	
FV		Produtividade	%cereja
Irrigação		13,75**	6,02**
Genótipo	2020	12,88**	0,57ns
Irig*Gen		6,38**	3,19**
CV (%)		22,77	11,47
Irrigação		9,32**	2,34ns
Genótipo	2021	0,21ns	0,64ns
Irig*Gen		3,80*	7,42**
CV (%)		38,37	9,14

CAPÍTULO III

INDICADORES DE VIABILIDADE ECONÔMICA EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO DE CAFÉ

RESUMO

As mudanças causadas pelo clima nos sistemas agrícolas têm implicações notáveis sobre a tomada de decisão pelos agricultores a respeito da irrigação suplementar, pois essa técnica vem se tornando fundamental para o cultivo sustentável, eficiente e viável de café em áreas propícias ao déficit hídrico. Assim, o objetivo do trabalho foi analisar o custo de produção e rentabilidade do cultivo de café arábica irrigado e em sequeiro, em áreas de Cerrado Central. Foram avaliados quatro cenários: cenário anterior aos eventos climáticos significativos e à pandemia (Cenário I), cenário com efeitos da pandemia e dos eventos climáticos (Cenário II), cenário com produtividade média nacional e produtividade média em áreas irrigadas (Cenário III) e cenário de cafés especiais (grãos de melhores qualidade) (IV). No cenário I, apenas o tratamento sequeiro não apresentou viabilidade econômica devido não ter apresentado valor presente líquido (VPL) positivo. No cenário II devido aos preços elevados a taxa interna de retorno (TIR) apresentou valores superiores ao cenário I. Os cenários de produção nacional e do Cerrado mostraram-se viáveis para as condições de preços e taxas de juros avaliadas. No cenário de grãos especiais (IV), o sequeiro apresentou uma alta atratividade comparado com os demais cenários. Com isso, foi observado que o manejo das lavouras promove diferença na produção e o uso da irrigação é primordial para o aumento da viabilidade do cultivo de café. A comparação dos sistemas e dos cenários mostrou que a produtividade e o valor pago pela saca de café são as variáveis que mais impactam a TIR de uma lavoura cafeeira. Deste modo, é importante uma análise econômica e técnica para cada sistema de produção antes de se decidir por investir na cafeicultura.

Palavras chave: cafeicultura irrigada; valor presente líquido, taxa de atratividade.

5.1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas estão impactando a agricultura em todo o mundo devido ao aumento da temperatura e redução da precipitação pluviométrica, bem como condições climáticas extremas mais frequentes como a seca, chuvas de alta intensidade e granizo. Essas mudanças causadas pelo clima estão causando implicações em todo o sistema produtivo da cultura do café, incluindo mudanças em: (1) áreas adequadas para o cultivo; (2) produtividade da cultura; (3) qualidade do grão e (4) preço do produto. Isso está ocorrendo devido à frequência cada vez maior de condições climáticas adversas às regiões produtoras de café, incluindo ondas de calor e secas que tem afetado a produção de café (VINECKY et al., 2017) ao longo dos dois últimos anos.

As mudanças causadas pelo clima nos sistemas agrícolas têm implicações notáveis sobre a tomada de decisão pelos agricultores e aos meios de subsistência, bem como para as experiências e bem-estar do consumidor (DAMATTA et al., 2010; AHMED et al., 2014b; AHMED; STEPP, 2016; BOEHM et al., 2019). Devido ao aumento projetado das temperaturas médias, do aumento da concentração dos gases do efeito estufa e dos regimes de precipitação mais variáveis (PACHAURI et al., 2014), é essencial entender como as mudanças climáticas estão impactando as diferentes culturas em vários sistemas de manejo, a fim de projetar estratégias baseadas em evidências para fortalecer a resiliência da agricultura às mudanças globais (HAN et al., 2020).

Com isso, o uso da irrigação suplementar é fundamental no cultivo de café em áreas propícias ao déficit hídrico para obtenção de sistema de cultivo sustentável, eficiente e viável economicamente (SILVA et al., 2022). No entanto, é importante a realização de estudos de viabilidade das tecnologias empregadas nos sistemas agrícola para avaliação do retorno econômico e ter um cenário mais assertivo acerca do sistema como um todo. Deste modo, para

que a implementação dos sistemas seja economicamente viável, é necessário que os benefícios gerados com o uso da irrigação sejam positivos e superem os retornos provenientes da cafeicultura não irrigada, ou seja, que o ganho monetário pela elevação da produtividade compense a elevação do custo de produção ocasionada pela implantação e operacionalização dos sistemas de irrigação (ARÊDES et al., 2007)

A variação do custo de produção do café depende muito da região produtora, do tipo de tecnologia empregado na lavoura, do manejo empregado na cultura e da qualidade do produto final que se deseja alcançar. Assim, torna-se necessário verificar se os recursos empregados no processo produtivo estão resultando em rentabilidade e não em prejuízo, tal habilidade de gerenciamento deve oferecer ao o agricultor informações para a tomada de decisão (FEHR et al., 2012). O índice elevado de risco nas operações do setor agrícola, decorrente da influência de fatores externos que o produtor não possui controle, faz com que a mensuração e avaliação dos custos se tornem importantes, o que aumenta a relevância da controladoria no intuito de alcançar melhores resultados no desenvolvimento das atividades operacionais (DUARTE et al., 2010).

Assim, o objetivo do trabalho foi analisar o custo de produção e rentabilidade do cultivo de café arábica irrigado e em sequeiro, em áreas de Cerrado Central, visando dar subsídios para a tomada de decisão pelos cafeicultores da região e servir como apoio para sustentabilidade dos sistemas agrícolas que devem ser apoiados também por análises econômicas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Caracterização do experimento

A área experimental fica localizada na Embrapa Cerrados - Planaltina DF. A região é caracterizada com clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013), com duas estações bem definidas (seca e chuvosa). As precipitações ocorrem entre outubro e abril e o déficit hídrico entre maio e setembro (Figura 1). As temperaturas médias anuais da área ficam em torno de 21,1° C e precipitação média de 1.345mm.

A área experimental é dividida em quatro experimentos que receberam regimes hídricos com intensidade e duração diferente: IP 100 e 50 (irrigação plena com reposição de 100 e 50% da evapotranspiração), DH2 100 (déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100%, Sequeiro (sem irrigação). Para os estudos de viabilidade econômica foi utilizada a cultivar Iapar 59 que foi plantada no espaçamento de 3,50 m entre linhas e 0,50 m entre plantas com uma densidade de 5.600 plantas por hectare. As plantas receberam anualmente 400 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia e K₂O, 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 kg ha⁻¹ de micronutrientes FTE BR 12.

5.2.2 Indicadores de viabilidade econômica

O estudo de viabilidade de um empreendimento é o exame de um projeto a ser executado a fim de verificar sua justificativa, tomando-se em consideração os aspectos jurídicos, administrativos, comerciais, técnicos e financeiros. A máxima eficiência técnica somente se torna viável se for demonstrada a máxima eficiência econômica e financeira, ou seja, deve-se procurar a eficiência técnica compatível com a eficiência econômica e financeira (HIRSCHFELD, 2000).

A análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto fornece informações para a tomada de decisões nos distintos cenários que compõe o mercado. Dentre as etapas de

elaboração de projetos, destacam-se as análises quantitativas e qualitativas que resultarão no fluxo de caixa do projeto (GOES et. al, 2018). Na elaboração de um projeto, a construção correta de um fluxo de caixa é uma das etapas mais importantes, uma vez que os indicadores de rentabilidade e risco são derivados dele, ou seja, das entradas (receitas efetivas) e saída (dispêndios efetivos ou custos) de valores monetários cuja diferença é denominada de fluxo líquido (NORONHA, 1987).

A partir dos fluxos de caixa foram obtidos indicadores, Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o Benefício Periódico Equivalente (BPE), de viabilidade econômica para a produção de café sob irrigação plena, déficit hídrico e sequeiro. O VPL consiste em transferir para o momento atual todas as variações de caixa esperadas, descontá-las a uma determinada taxa de juros, e somá-las algebricamente (GOES; CHINELATO, 2018). Quando o VPL é maior que zero, o projeto é economicamente viável. Quanto maior seu valor, mais interessante é o projeto do ponto de vista econômico. O VPL é calculado de acordo a equação (1):

$$VPL = \sum_{i=1}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{i=1}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (1)$$

onde, VPL= é o valor presente líquido, C_j = valor atual dos custos; i = taxa de juros; j = período em que a receita e o custo ocorrem; n = número máximo de períodos.

A Taxa interna de retorno de um fluxo de caixa é a taxa de desconto interna gerada pelo projeto que torna o valor presente líquido igual a zero, ou, por consequência, iguala ao valor presente dos custos (GOES et. al, 2018). Pode ser entendida também como a taxa média de crescimento de um projeto. O VPL é igual a zero quando as grandezas futuras, ao serem descontadas com uma determinada taxa, produzem um valor presente para o fluxo de caixa que

é igual ao investimento inicial (desembolso) colocado no ponto zero da escala do tempo (PUCCINI, 2004). Quando a TIR é maior que a taxa de desconto predeterminada, o projeto é economicamente viável. Equação 2

O BPE é a parcela periódica e constante necessária ao pagamento de uma quantia igual ao VPL da opção de investimento em análise, ao longo da sua vida útil. O BPE é o VPL dividido em parcelas corrigidas, que resulta no rendimento líquido anual do projeto (GOES et. al, 2018). O BPE pode ser utilizado para ordenar projetos com diferentes horizontes de planejamento sem a necessidade de se utilizar outro método e é obtido pela equação (3):

$$BPE = \frac{VPL \times i \times (1+i)^{n^*}}{(1+i)^{n^*} - 1} \quad (3)$$

onde, VPL= valor presente líquido i = taxa de juros; n* = idade do projeto em anos

A Taxa Mínima de atratividade (TMA) é uma taxa de juros que representa o percentual mínimo que um investidor se propõe a ganhar ou ao máximo que um indivíduo se propõe a pagar ao realizar um financiamento. A TMA é estimada nas principais taxas de juros praticadas pelo mercado, como a Taxa Básica Financeira (TMF), Taxa Referencial (TR), Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC).

A TMA é comparada com a TIR para verificar o desempenho do projeto. Se a TIR for maior que a TMA o investimento é atrativo. Se ambas as taxas forem iguais, o investimento está economicamente numa situação de indiferença, se a TIR for maior que zero, o projeto já é viável, mas pode não ser atrativo ao investidor, por causa da TMA. E se a TIR for menor, o investimento não é atrativo ao investidor (GOES et. al, 2018).

5.2.3 Fonte de dados

Os fluxos de caixa para produção de café arábica na região de Planaltina-DF foram elaborados a partir do custo de produção e investimentos obtidos por meio de consulta a artigos, preço de insumos fornecidos pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e série de preços diários do café do período de janeiro de 2018 a agosto de 2022 fornecido pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA). Os fluxos foram montados para uma área de 10.000 m², com espaçamento entre plantas de 0,50x3,50 e uma população de 5.714 plantas/ha.

Tabela 1. Produtividade do café nos diferentes sistemas e cenários.

	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5	Ano 6 a 20
Sistemas	Cenário I e II				
IP 100	58	71	31	110	68
IP 50	50	58	35	78	55
DH2 100	59	50	46	51	52
Sequeiro	35	20	10	10	20
	Cenário IV				
IP 100	35	45	18	72	40
IP 50	30	37	23	45	32
DH2 100	51	43	41	42	46
Sequeiro	34	19	9.7	9.7	19

IP 100 e IP 50 - irrigação plena com reposição de 100% e 50 % da evapotranspiração, respectivamente, DH 100- déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração

Os primeiros investimentos em um projeto consistem nos custos com implantação no ano zero. Considerou-se a implantação de uma lavoura de café da variedade Iapar 59, três sistemas de irrigação e um sequeiro no período zero, com produção a partir do segundo ano. Foram avaliados quatro cenários: cenário anterior aos eventos climáticos significativos e à pandemia (Cenário I) cenário com efeitos da pandemia e dos eventos climáticos (Cenário II), cenário com produtividade média nacional e produtividade média em áreas irrigadas (Cenário III) e cenário de café especiais (IV). A produtividade obtida em cada sistema e ano estão

apresentadas na Tabela 1 e foram consideradas para a análise de viabilidade de cada sistema. Os dados de produtividade do Cenário IV foram obtidos a partir do percentual de grãos cereja contidos na produção dos Cenários I e II (Tabela 1).

Para determinar o preço da saca de café de 60 kg utilizou-se a série histórica do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA) dos preços médios mensais de café no Brasil. Os valores foram deflacionados para janeiro de 2020 (Cenário I) e para agosto de 2022 (Cenário II, III). Para os cenários I e II/III foram considerados os preços da saca de R\$ 531,00 e R\$1.430,99, respectivamente. Para o cenário de café especial (IV) foi considerado o valor da saca de café de R\$ 1.631,00 fornecido por produtores que comercializam esse produto.

No Cenário I foi utilizada a taxa de juros de 4,5 % ao ano e nos demais cenários 13,75% ao ano, que representa a taxa nominal de juros oferecida pelo Sistema Especial de Liquidação e Custódia (SELIC). Nestes cenários, por se tratar de área experimental, não foi considerado o preço da terra e os investimentos necessários para a produção de café especial.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados do fluxo de caixa, os maiores investimentos na lavoura de café estão na implantação e nos fertilizantes e corretivos utilizados anualmente (Figura 1). O alto valor de investimento na implantação da lavoura ocorreu devido os custos com a implantação do sistema de irrigação ter sido incluído nesta etapa (Figura 1).

5.3.1 Cenário I

Com base no fluxo de caixa foram calculados o VPL, BPE e TIR com valores de TMA de 10%. O sistema de irrigação plena com 100% da evapotranspiração gerou um VPL positivo,

com a utilização da taxa de desconto de 3,75% ao ano (Tabela 2). Neste sistema, o VPL foi de R\$ 48.739,13 significando que, com um preço médio de R\$ 531,00, o produtor reembolsará no final de 20 anos de produção esse valor líquido, ou seja, descontados os custos de investimento e a taxa de desconto de 3,75% ao ano (Tabela 2).

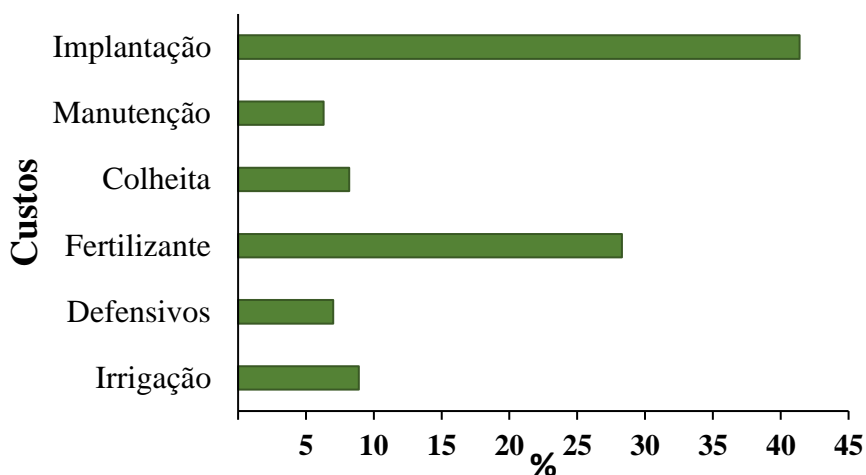


Figura 1. Percentual de custo total com a produção de café irrigado.

Nos sistemas IP 50, DH2 100 e sequeiro, o investimento não foi viável, pois gerou um VPL negativo e não apresentou TIR. Deste modo, uma produtividade média de 20 sacas por hectare comercializada por R\$531,00 tornou o projeto do sistema sequeiro inviável. Isso mostra que o plantio de café em sequeiro, diante do cenário econômico, no início de 2020, não é recomendável devido à inviabilidade do projeto. Já nos sistemas IP 50 e DH2 100 o incremento da produtividade gerado pelo uso da irrigação não foi suficiente para pagar o investimento no sistema de irrigação (Tabela 2).

Em relação a TIR, a alternativa tecnológica presente no IP 100 é economicamente viável, pois as TIR foram superiores à taxa de desconto de 3,75% ao ano, sob este ponto de vista torna o valor dos lucros futuros superior aos gastos realizados com o projeto, caracterizando uma boa taxa de remuneração (CUNHA et al., 2015). A TIR do IP 100 foi

superior à TMA o que deixa o sistema de produção atrativo. Por outro lado, o sistema sequeiro, IP 50 e DH2 100 não apresentaram viabilidade, considerando a taxa de juros de 3,75% ao ano e o preço da saca de café à época (Tabela 2).

Tabela 2. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em sistemas irrigados e sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário I - Início de 2020).

Indicador	Unidade	Duração 20 anos			
		Sistema de produção			
		IP 100	IP 50	DH2 100	Sequeiro
VPL	R\$	48.739,13	-24.892,30	- 60.255,34	-153.780,66
BPE	R\$	3.507,37	-1.791,30	- 4.336,10	-11.066,38
TIR	%	10,86%	-	-	-

IP 100 e IP 50 - irrigação plena com reposição de 100% e 50 % da evapotranspiração, respectivamente, DH 100- déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração. VPL – valor presente líquido, BPE - Benefício Periódico Equivalente, TIR: taxa interna de retorno

O sistema de IP 100 apresentou maior BPE e TIR que os demais sistemas (Tabela 2).

Essa diferença está relacionada ao maior valor da lâmina de água utilizada neste sistema, que promoveu uma maior produtividade. Apesar desse sistema apresentar maior custo, a produtividade foi suficiente para pagar o investimento. Comparando os sistemas de produção, foi observado que é necessária uma produtividade média acima de 50 sacas ha⁻¹ para o sistema ser economicamente viável.

5.3.2 Cenário II

O cenário II é baseado nas mudanças de preços de insumos, alteração de taxas de juros e aumento do preço do café em ambiente pandêmico e com ocorrência de mudanças climáticas desfavoráveis à produção de café. O ano de 2021 foi marcado pela acentuada alta nos preços dos cafés arábica e robusta. Assim, os valores de ambas variedades atingiram recordes nominais das respectivas séries históricas do Cepea (CEPEA, 2021). Em janeiro de 2021, o valor da saca era de quase R\$ 640,00 e fechou o ano em R\$ 1.446,66 (Figura 2). Portanto, o café teve um ganho de

preço de R\$ 807,43 ao longo do ano de 2021 que equivale a uma alta de 126,31% se comparado ao preço de janeiro (CONAB, 2022).

Alguns fatores contribuíram para o aumento expressivo do preço do café. No primeiro semestre de 2021, as cotações foram impulsionadas pela perspectiva de menor produção na safra 2021/22. Além da bialidade negativa do café arábica, a seca durante a maior parte do desenvolvimento dos cafezais limitou o potencial produtivo da temporada (CEPEA, 2022). No segundo semestre de 2021, o movimento de alta nos preços dos cafés (Figura 2), especialmente nos do arábica, foi ainda mais expressiva, sendo reforçado por novas preocupações com a oferta do grão, redução da produtividade por área devido às adversidades climáticas nas principais regiões produtoras e a competição de áreas com cultivos anuais (CEPEA; CONAB, 2022). Essa quebra da produção em 2021, combinada a um cenário de exportação firme naquele ano, resultou na redução dos estoques, consequentemente, escassez no mercado (CONAB, 2022).

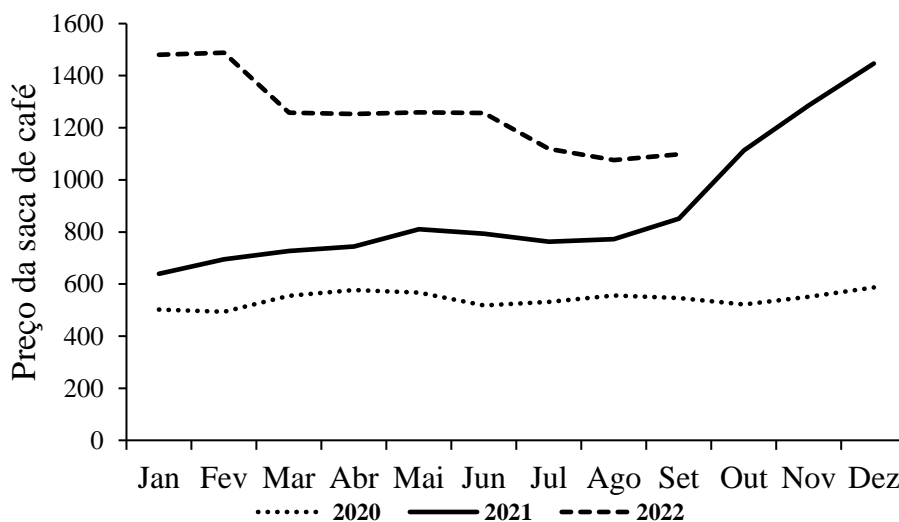


Figura 2. Variação de preços da saca de café entre 2020 e 2022.

Além disso, os longos períodos de restrição hídrica e geadas ocorridos em 2021 afetaram o potencial produtivo das lavouras de café arábica para a safra 2022 em São Paulo, Paraná e

Minas Gerais (CEPEA; CONAB, 2022). Na safra de 2022, as precipitações frequentes ocorridas no início do ano, principalmente em Minas Gerais, provocaram grande lixiviação de potássio, nutriente importante na síntese e transporte de carboidratos para os frutos (CONAB, 2022). Esses fatores somados, prejudicaram a produtividade da safra que está sendo 1,8% superior à da safra passada, ano de bienalidade negativa, porém 30% inferior ao obtido na safra 2020, quando foi alcançada a produtividade média de 32,2 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2022).

Com base nessas informações foi gerado um fluxo de caixa para o cenário atual da cafeicultura brasileira e observou-se que se essa mesma produtividade utilizada no Cenário I for vendida a um valor de R\$1.431,00 a saca, Cenário II, a viabilidade do projeto estará garantida, mesmo utilizando uma taxa de juros de 13,75% ao ano (Tabela 3). No Cenário II, todos os sistemas se mostraram viáveis com VPL de 341.647,76 (IP 100), 248.497,80 (IP 50), 219.812,79 (DH2 50) e 9.407,70 (Sequeiro). A comparação dos cenários I e II mostra que o valor da saca do café em alta foi fundamental para a viabilidade do projeto no sistema IP 50, DH2 100 e sequeiro. De acordo Goes e Chinelato (2018), combinar uma produtividade acima da média com um momento de preço favorável para a venda do produto é o melhor cenário para se ter rentabilidade na produção de café.

O consumo global de café na safra 2022/23 apresenta crescimento de 1,1% em relação ao ciclo anterior e atinge um patamar recorde na série histórica (CONAB, 2022). Diante deste quadro de produção e consumo no mercado mundial, a estimativa do USDA é de que o estoque de café apresente aumento de 6,3% na safra 2022/23, embora, ainda, se mantenha em um dos patamares mais baixos das últimas temporadas (CONAB, 2022), o que deve impedir a recuperação dos estoques nacionais e globais que recuaram após a forte diminuição da produção na safra de 2021/22. Além da estimativa de demanda aquecida entre 2022 e 2023, a preocupação com a oferta também dá suporte à alta dos preços do café no mercado internacional (CEPEA,

2022). As informações de queda da produção no Vietnã e na Colômbia devido a ocorrência do fenômeno La Niña também contribuiu para manutenção das cotações do café e o aumento dos preços internacionais (CONAB, 2022).

As cotações internacionais apresentam alta volatilidade desde o final de fevereiro de 2022 quando o agravamento do conflito bélico na Ucrânia trouxe muitos riscos ao mercado de commodities. O preço médio do café Arábica na Bolsa de Nova Iorque em agosto de 2022 foi de 224,22 centavos de dólar por libra-peso para o contrato de primeiro vencimento, o que representa uma alta de 3,5% em relação ao mês anterior e de 22,9% na comparação com agosto do ano passado (CONAB, 2022).

Tabela 3. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em sistemas irrigados e em sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário II).

Duração 20 anos					
Indicador	Unidade	Sistema de produção			
		IP 100	IP 50	DH2 100	Sequeiro
VPL	R\$	341.647,76	248.497,80	219.812,79	9.407,70
BPE	R\$	50.841,97	36.497,80	32.711,22	1.400,00
TIR	%	70%	60%	59%	18%

IP 100 e IP 50 - irrigação plena com reposição de 100% e 50 % da evapotranspiração, respectivamente, DH 100- déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração. VPL – valor presente líquido, BPE - Benefício Periódico Equivalente, TIR: taxa interna de retorno

Neste cenário, os valores de BPE confirmam novamente que o valor líquido anual do IP 100 é maior que os demais sistemas devido à sua maior produtividade e com uma taxa interna de retorno de 70%. Além disso, a TIR dos demais sistemas mostram que o preço obtido pelas sacas de café produzidas nos sistemas IP 50, DH2 100 e sequeiro remuneram o capital investido, quando considerada a taxa de juros de 13,75% ao ano. Pois, a TIR foi superior à TMA, o que deixa os sistemas de produção atrativos.

5.3.3 Cenário III- Produções Nacionais

O Cenário III é referente à produção média nacional de café (22,5 sacas ha⁻¹) e a produção média de café com irrigação suplementar no Cerrado (43,8 sacas ha⁻¹) (CONAB, 2022). Para a produção nacional e do Cerrado foi utilizado o fluxo de caixa do sistema sequeiro e do DH2 100, respectivamente (Tabela 4).

Os dois cenários, produção nacional e do Cerrado, mostraram-se viáveis com VPL positivo e TIR de 23% e 46% para produção nacional e do Cerrado (Tabela 4). Os valores de BPE mostram que a produção de café no Cerrado com irrigação suplementar apresenta um valor presente líquido anual 83% maior que a produção média nacional.

Tabela 4. Indicadores de viabilidade econômica da produção média nacional e produção de café irrigado no Cerrado (Cenário III).

Duração 20 anos			
Indicador	Unidade	Sistema de produção	
		Produção Nacional	Produção Cerrado Irrigado
VPL	R\$	24.942,27	153.561,28
BPE	R\$	3.711,76	22.852,07
TIR	%	23%	46%

VPL – valor presente líquido, BPE - Benefício Periódico Equivalente, TIR: taxa interna de retorno

Os dados de produtividade utilizado neste cenário são da safra de 2022. Apesar da expectativa de maior volume a ser colhido por ser de bienalidade positiva, os números estão abaixo do esperado, uma vez que as condições climáticas desfavoráveis ocorridas entre junho e setembro de 2021, com secas e geadas, além do excesso de precipitações em Minas Gerais, entre dezembro de 2021 e fevereiro de 2022, foram determinantes para uma diminuição na produção esperada (CONAB, 2022).

Com isso, observa-se que o manejo das lavouras faz diferença na produção e o uso da irrigação é primordial para o aumento da viabilidade do cultivo de café. Em áreas de Cerrado, com um manejo bem mais uniforme e tecnificado, inclusive dispondo de irrigação complementar, os efeitos da estiagem durante o ciclo foram atenuados e resultou em uma

produtividade média de 43,5 sacas ha⁻¹, aumento de 6,2% em relação à safra 2021 (CONAB, 2022).

5.3.4 Cenário IV

Os cafés especiais são uma categoria de café que possui no mínimo 80 pontos numa escala de 0 a 100 que é dada pela metodologia da Specialty Coffee Association of America (SCAA). Sua obtenção inicia-se no plantio, nos tratamentos culturais, na escolha certa da variedade e região produtora que possuam solo e condições climáticas apropriadas (SILVA, 2008). Além de uma pós-colheita e torra de qualidade (GIOMO et al., 2011). A qualidade da bebida do café é determinada principalmente pelo sabor e aroma (GIOMO et al., 2011). Um café não pode ser chamado de especial se não possuir fragrância intensa, forte e marcante (SCAA, 2007).

O cenário IV baseia-se no mercado de grãos especiais com fluxo de caixa e taxa de juros iguais ao cenário II e III, no entanto com o valor da saca de R\$ 1.631,00. O valor da saca de café representa um valor médio obtido por meio de pesquisa com produtores de café especial. Diferentemente do que ocorreu nos cenários anteriores, neste, os índices de viabilidade foram maiores no sistema DH2 100 que apresentou VPL e TIR de R\$ 221.822,97 e 58%, respectivamente (Tabelas 5). Esse cenário é mais atrativo comparado aos demais e isso está relacionado à maior produção de grãos do tipo cereja, devido ao emprego do déficit hídrico para uniformizar a florada e a colheita. Em áreas com colheita mais uniforme e com maior percentual de grãos há uma produção com maior qualidade, agregando valor ao produto. (Tabelas 5).

Por sua vez, os sistemas de irrigação plena, por serem irrigados o ano todo, apresentam mais de uma florada por safra o que gera uma colheita desuniforme com menor percentual de grãos cereja. Com isso, há uma menor produção de grãos de qualidade o que contribui para um

menor retorno econômico. Nestes sistemas, o VPL foi de R\$ 167.503,89 e 94.884,10 para os sistemas IP 100, IP 50, respectivamente (Tabelas 5). Esses dados mostram que, embora a produção de grãos especiais seja menor que a produção de grãos convencionais, devido ao maior rigor na seleção, o preço do produto compensa a menor produção. Além disso, os grãos não classificados como especiais podem ser comercializados para o mercado de café tradicional.

Tabela 5. Indicadores de viabilidade econômica da produção de café em sistemas irrigados e em sequeiro com o tempo de 20 anos para a vida útil do cafezal (Cenário IV).

		Duração 20 anos			
Indicador	Unidade	Sistema de produção			
		IP 100	IP 50	DH2 100	Sequeiro
VPL	R\$	167.503,89	94.884,10	221.822,97	22.179,18
BPE	R\$	24.926,92	14.120,08	33.010,36	3.300,57
TIR	%	46	35	58	23

IP 100 e IP 50 - irrigação plena com reposição de 100% e 50 % da evapotranspiração, respectivamente, DH 100- déficit hídrico com suspensão da irrigação de junho a setembro e reposição de 100% da evapotranspiração. VPL – valor presente líquido, BPE -, TIR: taxa interna de retorno

O sistema sequeiro, apesar de menos produtivo, apresenta uma uniformidade superior a 90% que contribuiu para maior produção de frutos cereja e possibilitou uma TIR de 23%. Com isso, de todos os cenários avaliados, o de café especial foi o que possibilitou maior atratividade do sistema de produção em sequeiro. É válido ressaltar que além da uniformidade dos frutos, a qualidade física e química dos grãos são fundamentais para determinação da qualidade da bebida.

A comparação dos sistemas e dos cenários mostrou que a produtividade e o valor pago pela saca de café são as variáveis que mais impactam a TIR de uma lavoura cafeeira. Ao se tratar de uma cultura perene como o café, o capital investido permanece imobilizado por um longo período, portanto, é preciso planejar com muita cautela e investir em manejos e cultivares que favoreçam a produtividade (GOES et. al, 2018). Para Matiello e outros autores (2015), a cafeicultura atual não pode ser estática como no passado, com o produtor sendo avaliado pela

área de cafeeiros que possui. Deve ser dinâmica e empresarial, avaliada anualmente e ajustada de acordo com sua produtividade, rentabilidade e qualidade dos grãos, podendo ser reduzida ou ampliada conforme essas análises.

5.4 CONCLUSÃO

1. A comparação entre os cenários e as análises dos indicadores econômicos propostos demonstra que o acréscimo no preço da saca de café pago aos produtores ou um incremento na produtividade promovido pela irrigação aumenta a atratividade do investimento devido à elevação dos indicadores econômicos.
2. A cafeicultura irrigada é rentável e superior à produção em sequeiro, pois além de elevar o retorno econômico ainda pode vir a reduzir o risco da atividade.
3. Dentro de uma mesma área pode haver variáveis que influenciam a produtividade da lavoura sendo fundamental uma análise para cada sistema antes de decidir-se por investir na cafeicultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

AHMED, S.; STEPP, J. R. Beyond yields: climate change effects on specialty crop quality and agroecological management. **Elementa: Science of the Anthropocene**. v.4, n.1, p.000092, 2016.

AHMED, S.; STEPP, J. R.; ORIAN, C.; GRIFFIN, T.; MATYAS, C.; ROBBAT, A., et al. Effects of extreme climate events on tea (*Camellia sinensis*) functional quality validate indigenous farmer knowledge and sensory preferences in tropical China. **PLoS ONE** v. 9, n. 10, p.e109126, 2014.

ARÊDES, A. F. D., SANTOS, M. L. D., RUFINO, J. L. D. S., REIS, B. D. S. Viabilidade econômica da irrigação da cultura do café na região de Viçosa-MG, **Revista de Economia e Agronegócio**, v. 5, n. 2, p. 207-226, 2007.

BOEHM, R.; KITCHEL, H.; AHMED, S.; HALL, A.; ORIAN, C. M.; STEPP, J. R.; JUNIOR, A. R.; GRIFFIN, T. S.; CASH, S. B. Is agricultural emissions mitigation on the menu for tea drinkers? **Sustainability**. v. 11, n. 18, p.4883, 2019.

CEPEA-CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – ESALQ/USP. Agromensal Café, São Paulo, p.1-3, dezembro 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de café, v.9 - Safra 2022, n.4 - Quarto Levantamento, Brasília, p.1-52, dezembro 2022.

CUNHA, J. P. B.; SILVA, F. M.; ANDRADE, F.; MACHADO, T. A.; BATISTA, F. A. Análise técnica e econômica de diferentes sistemas de transplante de café (*Coffea arabica* L.). **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 289 – 297, 2015.

DAMATTA, F. M., GRANDIS, A., ARENQUE, B.C., BUCKERIDGE, M.S. Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. **Food Research International**, v. 43, n. 7, p. 1814-1823, 2010.

DUARTE, S. L.; TAVARES, M.; REIS, E. A. Comportamento das Variáveis dos Custos de Produção da Cultura do Café no Período de Formação da Lavoura. **Contabilidade Vista & Revista**, v. 24, n. 4, p.15-33, 2013.

FEHR, L. C. F. A.; DUARTE, S. L.; TAVARES, M.; REIS, E. A. Análise das Variáveis de Custos da Cultura do Café Arábica nas Principais Regiões Produtoras do País. **REUNA**, v. 17, n. 2, p. 97-115, 2012.

GIOMO, G. S.; BORÉM, F. M.; FAZUOLI, L. C.; MISTRO, J. C.; FIGUEIREDO, L. P.; RIBEIRO, F. C.; BERNARDI, M. R. Qualidade física e sensorial de cultivares de *coffea arabica* para produção de cafés especiais no estado de São Paulo. VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, 2018.

GOES, T. B.; CHINELATO, G. A. Viabilidade econômico-financeira da cultura do café arábica na região da Alta Mogiana. **Revista IPEcege**, v. 4, n. 4, p. 31-39, 2018.

HAN, W.; AHMED, S.; WEI, C.; ORIAN, C. M.; LANDI, M. Responses of tea plants to climate change: From molecules to ecosystems. **Frontiers in Plant Science**, v.1, p.594317, 2020.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia Econômica e Análise de Custos**. 7. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2000.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamento e viabilidade econômica**. São Paulo, Editora Atlas, 1987.

PACHAURI, R. K.; MEYER, L. **Climate Change 2014**. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014.

PUCCINI, A. L. **Matemática financeira: Objetiva e aplicada**. 7. ed. São Paulo: Saraiva, 2004

6. CONCLUSÃO GERAL

Nosso estudo é o primeiro estudo na região do Cerrado a introduzir a substituição da evapotranspiração em plantas de café. Os resultados indicam que as respostas do cafeeiro ao déficit hídrico são baseadas nos mecanismos de prevenção a seca: fechamento estomático, redução da transpiração e absorção contínua de água. A análise fisiológica mostrou que evitar a perda de água por transpiração devido ao controle da abertura estomática e a rápida recuperação de água pelo tecido foliar podem ser os mecanismos que protegem a planta durante o estresse hídrico e aceleram a recuperação fisiológica após o retorno da irrigação. No entanto, os dados de produtividade mostraram que, para esses genótipos, a duração do estresse e a redução de 50% na disponibilidade hídrica limitaram a produtividade das plantas sob estresse hídrico.

Os regimes com déficit hídrico controlado por irrigação contribuíram para a uniformidade da colheita do café com maiores percentuais de grãos cereja e promoveram maior crescimento vegetativo das plantas de café. A utilização do genótipo adequado para cada região e cada condição é importante, pois os genótipos apresentaram diferenças fisiológicas e

produtivas, e a escolha dependerá da região em que será cultivado e da produtividade desejada. O Iapar 59 é um genótipo adequado para produção no Cerrado devido à fisiologia adaptada e alta produtividade, sendo superior aos demais genótipos sob irrigação plena, manejo do déficit hídrico e sequeiro. O E237 poderia ser usado em programas de melhoramento genético como fonte de genes para aumentar a tolerância ao déficit hídrico.

A irrigação complementar às chuvas é essencial para a cafeicultura no Cerrado, pois o cultivo e, sequeiro não é favorável ao desenvolvimento morfológico, fisiológico e reprodutivo dos genótipos de café estudados. Além disso, a cafeicultura irrigada é rentável e superior à produção em sequeiro, pois além de elevar o retorno econômico ainda pode vir a reduzir o risco da atividade.