



DAIANE DOS SANTOS SOARES

**MORFOFISIOLOGIA, ANATOMIA FOLIAR E
PRODUTIVIDADE DE CLONES DE CAFÉ CONILON NO
CERRADO CENTRAL**

**LAVRAS-MG
2022**

DAIANE DOS SANTOS SOARES

**MORFOFISIOLOGIA, ANATOMIA FOLIAR E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE
CAFÉ CONILON NO CERRADO CENTRAL**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho
Coorientadora

Dr. Adriano Delly Veiga
Coorientador

**LAVRAS-MG
2022**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Soares, Daiane dos Santos.

Morfofisiologia, anatomia foliar e produtividade de clones de
café conilon no Cerrado Central / Daiane dos Santos Soares. - 2022.
127 p. : il.

Orientador(a): Rubens José Guimarães.

Coorientador(a): Milene Alves de Figueiredo Carvalho,
Adriano Delly Veiga.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2022.
Bibliografia.

1. *Coffea canephora*. 2. Fisiologia. 3. Anatomia foliar. I.
Guimarães, Rubens José. II. Carvalho, Milene Alves de Figueiredo.
III. Veiga, Adriano Delly. IV. Título.

DAIANE DOS SANTOS SOARES

**MORFOFISIOLOGIA, ANATOMIA FOLIAR E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE
CAFÉ CONILON NO CERRADO CENTRAL**

**MORPHOPHYSIOLOGY, FOLIAR ANATOMY AND PRODUCTIVITY OF
CONILON COFFEE CLONES IN THE CENTRAL CERRADO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 12 de agosto de 2022.

Dr. Rubens José Guimarães	UFLA
Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	UFLA
Dr. Adriano Delly Veiga	EMBRAPA
Dra. Dalyse Toledo Castanheira	UFLA
Dra. Elisângela Aparecida da Silva	UFMG
Dra. Vânia Aparecida Silva	EPAMIG

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho
Coorientadora

Dr. Adriano Delly Veiga
Coorientador

**LAVRAS-MG
2022**

*Aos meus pais, Aivaldo Alves Soares e
Ana Sueli dos Santos Soares, por
estarem sempre ao meu lado e por
acreditarem nos meus sonhos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me fortalecer e iluminar cada passo desta caminhada.

Aos meus pais e a toda a minha família, pelo carinho e apoio.

À minha irmã Jaqueline, meu exemplo de perseverança, pela amizade, incentivo e por estar sempre ao meu lado.

Ao Pedro, pelo amor, companheirismo e apoio. De forma especial nesse trabalho, por toda a sua ajuda.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), especialmente, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela concessão da bolsa de doutorado. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao meu orientador, professor Dr. Rubens José Guimarães, pela colaboração, confiança e principalmente pelos ensinamentos que contribuíram para a minha formação.

Aos meus coorientadores, Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho e Dr. Adriano Delly Veiga, pelas orientações e todas as contribuições para a realização desse trabalho.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Café e Embrapa Cerrados), pela disponibilidade de infraestrutura.

Ao Consórcio Pesquisa Café, pelo financiamento do projeto, e aos pesquisadores da EMBRAPA, Dra. Solange Rocha Monteiro de Andrade e Dr. Gustavo Costa Rodrigues, pela ajuda durante as avaliações.

Às amigas, Coralline e Vanessa, pela amizade e apoio.

Às amigas, Helena e Vytória, pelo companheirismo, e pelos momentos que compartilhamos durante o tempo que moramos juntas.

A todos do Setor de Cafeicultura e Laboratório de Anatomia do Café, pela amizade e apoio. Em especial, à Ana Cristina e à Nágla pela ajuda nas análises realizadas.

A todos que contribuíram para a construção deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

A região do Cerrado tem grande potencial para a cafeicultura devido às suas características climáticas, associadas à possibilidade de adoção de técnicas de manejo da irrigação, como a suspensão da irrigação no período de inverno, para sincronização da florada. As cultivares de café Conilon com diferentes ciclos de maturação dos frutos, lançadas pelo Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), em 2013, são produtivas em condições irrigadas, no entanto, precisam ser avaliadas em condições de Cerrado. Nesse sentido, objetivou-se avaliar o comportamento de clones das cultivares Jequitibá Incaper ES8122 e Centenária ES8132, por meio de análises fisiológicas, anatômicas, bioquímicas foliares, bem como crescimento e produtividade dos grãos, em sistema irrigado com um período de déficit hídrico controlado, no Cerrado do Planalto Central. As análises foram realizadas em duas cultivares de Conilon, sendo cinco clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 (ciclo intermediário) e seis da cultivar Centenária Incaper ES8132 (ciclo tardio). Foi adotado o manejo de irrigação com déficit hídrico controlado de aproximadamente 64 dias. As avaliações foram realizadas em três períodos, sendo: final do período de suspensão hídrica (FPSI), dois dias após o retorno da irrigação (2dARI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019 e 2020. As características fisiológicas analisadas foram trocas gasosas, potencial hídrico da antemanhã, índices de clorofila a, b e total e conteúdo relativo de água. Avaliou-se as características anatômicas foliares espessura da cutícula da face adaxial, espessura do limbo foliar, densidade e funcionalidade estomática, área total da região do floema, área e frequência de vasos xilema, diâmetro de vasos do xilema, condutividade hidráulica relativa e índice de vulnerabilidade do xilema. Em relação às análises bioquímicas, mensurou-se os níveis de peróxido de hidrogênio, malondialdeído, atividade das enzimas catalase, dismutase do superóxido, peroxidase do ascorbato, níveis de ascorbato e o metabolismo de carboidratos, por meio da quantificação do amido e açúcar solúvel total. Também foi avaliada a produtividade dos grãos, altura das plantas, projeção da copa e o índice de área foliar. Dentre os clones da cultivar Jequitibá, o clone 207 teve maior produtividade, e relação com as variáveis diâmetro de vasos do xilema, condutividade hidráulica relativa, taxa fotossintética líquida, maior teor de amido e ativou o sistema de defesa antioxidante. O clone 203, com produtividade intermediária, teve relação com as variáveis ligadas aos vasos condutores e teor de amido. Dentre os clones da cultivar Centenária, o clone 302 teve maior produtividade, maior relação com o diâmetro de vasos do xilema e condutividade hidráulica relativa, taxa fotossintética líquida, eficiência do uso da água, maiores valores de altura da planta, projeção da copa, índice de área foliar, e ativou o sistema de defesa antioxidante. As variáveis altura da planta, projeção de copa, amido e açúcar solúvel total tiveram relação positiva com a produtividade. Os clones das duas cultivares apresentaram potencial para serem utilizados nas condições da região do Planalto Central, em sistema irrigado de produção, e os clones 203, 207 e 302 podem ser utilizados dentro do programa de melhoramento, como parentais.

Palavras-chave: Cafeeiro. Suspensão da irrigação. Fisiologia. Carboidratos. Sistema antioxidante.

ABSTRACT

The Central Cerrado region has great potential for coffee growing, due to its climatic characteristics associated with the possibility of adopting irrigation management techniques, such as the suspension of irrigation in the winter period, to synchronize flowering. Conilon coffee cultivars, with different fruit maturation cycles, launched by the Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) in 2013, are highly productive under irrigated conditions, however, they still need to be evaluated under Cerrado conditions. In this sense, the objective was to evaluate the performance of clones of the cultivars Jequitibá Incaper ES8122 and Centenária ES8132, through physiological, anatomical and biochemical foliar analyses, as well as growth and grain yield, in an irrigated system with a period of controlled water deficit, in the Central Cerrado region. The analyzes were performed on clones of two cultivars of Conilon, five clones of the cultivar Jequitibá Incaper ES8122 (intermediate cycle) and six of the cultivar Centenária Incaper ES8132 (late cycle). Irrigation management with controlled water deficit of approximately 64 days was adopted. The evaluations were carried out in three periods, being: end of the water suspension period (FPSI), two days after the return of irrigation (2dARI) and three months after the return of irrigation (3mARI) in 2019 and 2020. The physiological characteristics analyzed were gas exchange, pre-morning water potential, chlorophyll a, b and total and relative water content. Leaf anatomical characteristics were evaluated: adaxial cuticle thickness, leaf blade thickness, stomatal density and functionality, total area of the phloem region, area and frequency of xylem vessels, diameter of xylem vessels, relative hydraulic conductivity and index of xylem vulnerability. Regarding the biochemical analyses, the levels of hydrogen peroxide, malondialdehyde, activity of catalase enzymes, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, ascorbate levels and carbohydrate metabolism were measured through the quantification of starch and total soluble sugar. Grain yield, plant height, canopy projection and leaf area index were also evaluated. Considering the clones of the Jequitibá cultivar, clone 207 showed the highest grain yield, and it was related to the variables xylem vessel diameter, relative hydraulic conductivity, net photosynthetic rate, higher starch content and activated the antioxidant defense system. Clone 203 presented intermediate productivity which was related to variables related to conducting vessels and starch content. Among the clones of the cultivar Centenária, clone 302 revealed the highest productivity, the highest relationship with the diameter of xylem vessels and relative hydraulic conductivity, net photosynthetic rate, water use efficiency, higher values of plant height, canopy projection, index of leaf area, and activated the antioxidant defense system. The variables plant height, canopy projection, starch and total soluble sugar indicated positive relationship with productivity. The clones of both cultivars showed potential to be used in the Central Cerrado region conditions, in an irrigated production system, and clones 203, 207 and 302 also can be used within the breeding program, as parents.

Keywords: Coffee tree. Irrigation suspension. Physiology. Carbohydrates. Oxidative stress. Antioxidant system.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figura 1 - Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas, mensalmente, nos dois anos de avaliação (2019 e 2020) em Planaltina – DF.....46

CAPÍTULO 2

- Figura 2 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 no final do período de suspensão hídrica no ano de 2019 (FPSI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B). 56
- Figura 3 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 dois dias após o retorno da irrigação no ano de 2019 (2dARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.57
- Figura 4 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper três meses após o retorno da irrigação em (3mARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B). 59
- Figura 5 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 no final do período de suspensão hídrica no ano de 2020 (FPSI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B). 60
- Figura 6 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 dois dias após o retorno da irrigação no ano de 2020 (2dARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.61
- Figura 7 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 três meses após o retorno da irrigação no ano de 2020 (3mARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B). 63
- Figura 8 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 no final do período de suspensão hídrica em 2019 (FPSI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B). 65

Figura 9 -	Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 dois dias após o retorno da irrigação em 2019 (2dARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.	66
Figura 10 -	Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 três meses após o retorno da irrigação no ano de 2019 (3mARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).	67
Figura 11 -	Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 no final do período de suspensão hídrica em 2020 (FPSI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).	69
Figura 12 -	Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 dois dias após o retorno da irrigação em 2020 (2dARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.	70
Figura 13 -	Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 três meses após o retorno da irrigação em 2020 (3mARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).	71

CAPÍTULO 3

Figura 14 -	Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas, mensalmente, nos dois anos de avaliação (2019 e 2020). Planaltina – DF, 2022.	94
Figura 15 -	Correlação entre produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc.ha ⁻¹), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm), índice de área foliar (IAF), amido (AM – umol de glicose g ⁻¹ MF), e açúcar solúvel total (AST – umol de glicose g ⁻¹ MF) em clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122, no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2019 (a) e no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2020 (b).	99
Figura 16 -	Correlação entre produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc/ha), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm) amido (AM – umol de glicose g ⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (AST – umol de glicose g ⁻¹ MF) em clones da cultivar Centenária Incaper 8132, no final do período de suspensão hídrica e	

três meses após o retorno da irrigação em 2019 (a) e no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2020 (b). 103

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

- Tabela 1 - Características das cultivares ‘Jequitibá ES8122’ e ‘Centenária ES8132’, nas fazendas experimentais Marilândia, Sooretama e Bananal do Norte.21

CAPÍTULO 2

- Tabela 2 - Clones de *Coffea canephora* avaliados na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF.48
- Tabela 3 - Produtividade dos clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122.54
- Tabela 4 - Produtividade dos clones da cultivar Centenária Incaper ES8132 64

CAPÍTULO 3

- Tabela 5 - Clones de *Coffea canephora* avaliados na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF.92
- Tabela 6 - Produtividade média 2018/2020 (PROD – sc.ha⁻¹), índice de área foliar (IAF) em 2019, altura da planta (ALT – m) e projeção da copa (PC – cm) em avaliações de 2019 e 2020, em clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122.97
- Tabela 7 - Valores médios de amido (umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (umol de glicose g⁻¹ MF) em clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 no final do período de suspensão hídrica em 2019 e 2020 (FPSI-19, FPSI-20) e três meses após o retorno da irrigação em 2019 e 2020 (3MARI-19 e 3MARI-20).98
- Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis, produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc.ha⁻¹), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm), índice de área foliar (IAF), amido (AM – umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (AST – umol de glicose g⁻¹ MF) em 2019 e 2020 em clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122. 100
- Tabela 9 - Produtividade média 2018/2020 (PROD – sc.ha⁻¹), índice de área foliar (IAF) em 2019 e altura da planta (A – m) e projeção da copa (PC – cm) em 2019 e 2020, em clones da cultivar Centenária Incaper 8132. 100
- Tabela 10 - Valores médios de amido (umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (umol de glicose g⁻¹ MF) em clones da cultivar Jequitibá Centenária 8132 no final do período de suspensão hídrica em 2019 e 2020 (FPSI-19, FPSI-20) e três meses após o retorno da irrigação em 2019 e 2020 (3MARI-19 e 3MARI-20). 102
- Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis, produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc/ha), altura da planta (A – m), projeção da copa

(PC – cm), índice de área de área foliar (IAF), amido (AM – μmol de glicose g^{-1} MF) e açúcar solúvel total (AST – μmol de glicose g^{-1} MF) em clones da cultivar Centenária Incaper 8132 em 2019 e 2020. 103

LISTA DE ABREVIATURAS

2dARI	2 dias após o retorno da irrigação
3mARI	3 meses após o retorno da irrigação
A	Taxa fotossintética líquida
AF	Área total da região do floema
ALT	Altura da planta
APX	Peroxidase do ascorbato
AsA	Ascorbato
AST	Açúcar solúvel total
AX	Área total da região do xilema
CAT	Catalase
CHR	Condutividade hidráulica relativa
cIA	Clorofila a
cIB	Clorofila b
cIT	Clorofila Total
CRA	Conteúdo relativo de água
CUT	Cutícula da face adaxial
DEN	Densidade estomática
DPDE	Relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial dos estômatos
DV	Diâmetro de vasos xilema
E	Taxa transpiratória
EAB	Epiderme da face abaxial
EAD	Epiderme da face adaxial
FPSI	Final do período de suspensão da irrigação
FVX	Frequência de vasos do xilema
gs	Condutância estomática
H ₂ O ₂	Peróxido de hidrogênio
IAF	Índice de área foliar
IVX	Índice de vulnerabilidade do xilema
LIM	Espessura do limbo foliar
MDA	Malondialdeído
MPa	Potencial hídrico foliar antemanhã

NE	Número de estômatos
NVX	Número de vasos xilema
PC	Projeção da copa
PROD	Produtividade
SOD	Dismutase do superóxido
WUE	Eficiência instantânea do uso da água

SUMÁRIO

	CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL	17
1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	Classificação botânica do cafeeiro	19
2.2	Cultivares Jequitibá Incaper ES8122 e Centenária Incaper ES8132	20
2.3	Modificações fisiológicas e anatômicas em cafeeiros submetidos a déficit hídrico	22
2.4	Estresse oxidativo e mecanismo de defesa antioxidante no cafeeiro	25
2.5	Metabolismo de carboidratos em cafeeiro	29
	REFERÊNCIAS	31
	CAPÍTULO 2 ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, ANATÔMICAS FOLIARES E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE <i>Coffea canephora</i> NO CERRADO CENTRAL	42
1	INTRODUÇÃO	44
2	MATERIAL E MÉTODOS	46
2.1	Localização e caracterização da área experimental	46
2.2	Tratamentos e delineamento experimental	47
2.3	Características avaliadas	48
2.3.1	Características fisiológicas	49
2.3.2	Características anatômicas	50
2.3.3	Atividade de enzimas do metabolismo antioxidante	51
2.3.4	Quantificação do ascorbato	52
2.3.5	Quantificação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxidação lipídica	53
2.4	Análises estatísticas	53
3	RESULTADOS	54
3.1	Cultivar Jequitibá Incaper ES8122	54
3.2	Cultivar Centenária Incaper ES8132	63
4	DISCUSSÃO	72
5	CONCLUSÕES	79
	REFERÊNCIAS	80

	CAPÍTULO 3 METABOLISMO DE CARBOIDRATOS, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE CAFÉ CONILON NO CERRADO CENTRAL	87
1	INTRODUÇÃO	89
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	91
2.1	Localização e caracterização da área experimental.....	91
2.2	Tratamentos e delineamento experimental.....	92
2.3	Características avaliadas	93
2.3.1	Crescimento	94
2.3.2	Determinação dos carboidratos	95
2.4	Análise estatística	96
3	RESULTADOS.....	97
3.1	Cultivar Jequitibá Incaper ES8122	97
3.2	Cultivar Centenária Incaper ES8132	100
4	DISCUSSÃO	104
5	CONCLUSÕES	107
	REFERÊNCIAS	108
	APÊNDICES	112

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café e o segundo maior consumidor (USDA, 2020), sendo uma cultura de grande importância social e econômica, com geração de empregos e renda em toda a sua cadeia produtiva. A produção em 2021 foi de 47,47 milhões de sacas de 60 quilos de café beneficiado (CONAB, 2022). As duas espécies mais cultivadas mundialmente são *Coffea arabica* L. (café arábica) e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner (café Conilon/Robusta) (DAVIS *et al.*, 2011).

Os estados brasileiros maiores produtores de café são Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Rondônia, Paraná, Goiás e Mato Grosso. Em 2021, a produtividade média nacional de *C. arabica* foi de 21,93 sacas ha⁻¹, e a produtividade de *C. canephora* foi de 43,41 sacas ha⁻¹ (CONAB, 2022). A espécie *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner representa cerca de 38% da produção mundial, e o Brasil está entre os maiores produtores, com 20% da produção dessa espécie no mundo (FERRÃO *et al.*, 2016; EMBRAPA, 2021).

O estado do Espírito Santo é o maior produtor brasileiro de *C. canephora*, com mais de 60% do volume total do país, seguido dos estados de Rondônia e Bahia (CONAB, 2022). A produção de *C. canephora* tem aumentado expressivamente, buscando atender a demanda por café solúvel e composição de *blends*, já que essas bebidas possuem maiores teores de sólidos solúveis, maior rendimento industrial e ‘encorpamento’ à bebida (IVOGLO *et al.*, 2008; LIMA FILHO *et al.*, 2011, 2015; TEIXEIRA *et al.*, 2016).

A região do Cerrado tem se caracterizado como grande polo agrícola. Estudos nacionais e internacionais apontam que a expansão da agricultura para a produção de alimentos deverá ocorrer em regiões com grande potencial produtivo, como o Cerrado brasileiro (FAO, 2017; BRASIL, 2018), o que destaca o Brasil entre os maiores produtores agrícolas do mundo (BOLFE; SANO; CAMPOS, 2020). Assim, os programas de melhoramento genético têm buscado selecionar materiais genéticos que tenham melhor potencial de adaptação a essa região (BRIGE *et al.*, 2019).

A produção de café no Cerrado se destaca em relação às outras regiões devido suas características favoráveis, como adoção de irrigação, além da possibilidade de utilização de técnicas de manejo da mesma (CONAB, 2020; FERNANDES *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2020). No entanto, estudos com o café Conilon nessa região ainda são incipientes, sendo

que informações sobre o comportamento agrônômico são de grande importância (BRIGE *et al.*, 2019).

Em relação ao manejo da irrigação, estudos realizados por Guerra, Rocha e Rodrigues (2005) propuseram o uso da técnica de interrupção da irrigação na estação seca (junho a agosto), com a finalidade de uniformizar a florada em cafés arábicas, e obter dessa maneira, maior número de frutos cereja. Além disso, a colheita coincide com a estação seca, o que evita fermentações indesejadas e resulta em melhor qualidade do café.

Com a utilização da técnica de suspensão da irrigação as plantas passam por um período de déficit hídrico controlado. O déficit hídrico pode afetar os processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, incluindo assimilação e partição de carbono, respiração, absorção de nutrientes, translocação e todo metabolismo (LIMA *et al.*, 2002; RAMALHO *et al.*, 2014). As reservas de carboidratos no cafeeiro também podem ser limitadas em períodos de déficit hídrico, devido ao maior consumo de seu estoque energético para manutenção da respiração (DaMATTA *et al.*, 2018; CAMPOS *et al.*, 2019).

O Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) lançou, em 2013, cultivares de cafés da espécie *Coffea canephora*, variedade botânica Conilon, disponíveis para o estado do Espírito Santo, destacando-se a Jequitibá ES8122 (ciclo intermediário) e a Centenária ES8132 (ciclo tardio), compostas pelo agrupamento de nove clones. Essas cultivares são altamente produtivas em condições irrigadas, necessitando de informações sobre o comportamento em outras regiões de cultivo, como no Planalto Central.

Nesse sentido, objetivou-se avaliar o comportamento de clones das cultivares Jequitibá Incaper ES8122 e Centenária ES8132, no Cerrado do Planalto Central, por meio de análises fisiológicas, anatômicas, bioquímicas foliares, bem como crescimento e produtividade dos grãos, em sistema irrigado com um período de déficit hídrico controlado.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Classificação botânica do Cafeeiro

O gênero *Coffea* é representado por mais de 124 espécies no mundo, destas *Coffea arabica* Linnaeu e *C. canephora* Pierre ex A. Froehner têm maior impacto social e econômico, sendo cultivadas em grande escala (FERRÃO *et al.*, 2019), devido suas características comerciais, como aroma e sabor (ADEPOJU *et al.*, 2017).

O Brasil é o maior produtor, exportador e segundo maior consumidor mundial de café (ICO, 2020), o que torna a sua produção uma atividade de grande importância social e econômica. A produção em 2021 atingiu 47,72 milhões de sacas, sendo o estado de Minas Gerais o principal produtor, com 22,14 milhões de sacas (CONAB, 2022).

A produção mundial de *C. canephora* tem aumentado de forma significativa por ser a espécie mais tolerante à altas temperaturas e deficiência hídrica em relação ao *C. arabica*, (MOURA *et al.*, 2007; RIBEIRO *et al.*, 2014). Essa espécie é largamente utilizada na composição dos *blends* com café arábica e nas indústrias de torrado e moído (expresso e solúvel), devido ao maior teor de sólidos solúveis, maior rendimento industrial e conferir ‘corpo’ à bebida (IVOGLO *et al.*, 2008; LIMA FILHO *et al.*, 2011, 2015; TEIXEIRA *et al.*, 2016), podendo compor cerca de 60% em *blends* sem comprometer a qualidade final (LIMA FILHO *et al.*, 2015).

Estudos conduzidos por Berthaud (1986) identificaram dois grupos distintos dentro da espécie *Coffea canephora*, com origens geográficas diferentes: o Guineano e o Congolense. A variedade Robusta (que também recebe o nome comum da espécie) é a mais utilizada mundialmente, pertencente ao grupo Congolês (DaMATTA; COCHICHO RAMALHO, 2006; CARVALHO, 2008), já no grupo Guineano, destaca-se a variedade Conilon (MARCOLAN; ESPINDULA, 2015).

A variedade botânica Conilon se diferencia da variedade botânica Robusta pela sua maior resistência ao déficit hídrico, menor porte e maior suscetibilidade a pragas e doenças (PARTELLI; ESPINDULA, 2019). O ciclo de bienalidade que ocorre no café é menos intenso no café Conilon, comparado ao arábica, pois, a espécie *C. canephora* caracteriza-se pelo elevado vigor vegetativo e produção de uma bebida predominantemente neutra (RIBEIRO *et al.*, 2014).

Os maiores produtores brasileiros de café Conilon são os estados do Espírito Santo, Rondônia e Bahia, com participação de 78%, 13% e 7%, respectivamente (CONAB, 2021). A cafeicultura do Conilon do Espírito Santo ocupa lugar especial na história, cultura, paisagem e economia de mais de 80% dos municípios capixabas (FERRÃO *et al.*, 2019).

O Cerrado é o segundo maior bioma fitogeográfico do Brasil, com uma área de 2.036.448 km², representando cerca de 23,9% do território do país (IBGE, 2021). Essa região abrange os estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Tocantins, Bahia, Piauí, Maranhão e Distrito Federal, e tem se destacado pelos maiores incrementos na produtividade de café da espécie *Coffea arabica*, estando acima da média nacional (CONAB, 2020), e possui potencial para a exploração também de cafés da espécie *Coffea canephora*.

A região do Cerrado possui características intrínsecas, como concentração de chuva no verão e cinco a seis meses de período seco no inverno. Em busca da diminuição dos impactos causados pelos baixos índices pluviométricos e altas temperaturas, uma alternativa é a utilização de sistema de irrigação na região do Cerrado (FERNANDES *et al.*, 2012).

Assim, com objetivo de melhorar o manejo irrigado, aliado ao ambiente mais definido, predominante da região do Cerrado, Guerra, Rocha e Rodrigues (2005) propuseram o uso da interrupção da irrigação na estação seca (junho a agosto), buscando obter uma maior uniformidade da florada e, conseqüentemente, aumento do número de frutos cerejas.

2.2 Cultivares Jequitibá Incaper ES8122 e Centenária Incaper ES8132

O Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), iniciou em 1985 o programa de melhoramento da espécie *Coffea canephora*, com o objetivo de disponibilizar aos cafeicultores, genótipos mais adequados às necessidades do sistema de produção, uma vez que as cultivares utilizadas eram propagadas por sementes, com grande heterogeneidade de plantas, produção, e em outras características, com dificuldade de manejo, baixo potencial geral de produção e qualidade inferior de bebida (FERRÃO *et al.*, 2007, 2012, FERRÃO *et al.*, 2017).

Através de estratégias de melhoramento e um conjunto de dados de experimentos conduzidos nas fazendas experimentais do Incaper de Marilândia, Sooretama e Bananal do Norte, foram obtidas as cultivares de café Conilon Diamante ES8122, Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 (FERRÃO *et al.*, 2017). O método utilizado para obtenção dessas cultivares foi a propagação vegetativa via estaquia (clones) (FERRÃO; FERRÃO; FONSECA, 2013).

A cultivar clonal ‘Jequitibá ES8122’ foi lançada em 2013 e é formada pelo agrupamento de nove clones compatíveis entre si, possui maturação dos frutos intermediária com colheita concentrada no mês de junho. A produtividade média em condições não irrigadas é de 88,75 sacas beneficiadas/ha, sendo superior em 47,92% a média da ‘Emcapa 21’ (intemediária) e em 26,07% a média da ‘Vitória Incaper 8142’, lançadas em 1993 e 2004, respectivamente (FERRÃO *et al.*, 2014, FERRÃO *et al.*, 2015a).

A cultivar clonal ‘Centenária ES8132’ também lançada em 2013, é composta pelo agrupamento de nove clones compatíveis entre si, sendo diferenciada da ‘Jequitibá ES8122’ sobretudo pelo ciclo de maturação tardia com colheita concentrada no mês de julho. A produtividade média em condições não irrigadas é de 82,36 sacas beneficiadas/ha, apresentando superioridade em 37,27% a média da ‘Emcapa 21’ (intemediária) e em 16,99% a média da ‘Vitória Incaper 8142’, lançadas em 1993 e 2004 respectivamente (FERRÃO *et al.*, 2014, 2015b).

Em plantios irrigados e com uso de alta tecnologia as cultivares ‘Jequitibá ES8122’ e ‘Centenária ES8132’ podem atingir patamar superior a 120 sacas beneficiadas/ha. Além de alta produtividade, apresentam estabilidade de produção, porte médio, alto vigor vegetativo, baixas percentagens de grãos chochos e moca, épocas diferenciadas e uniformidade de maturação dos frutos, grãos grandes, tolerância à seca e moderada resistência à ferrugem e superior qualidade de bebida (TABELA 1) (FERRÃO *et al.*, 2017).

Em análises sensoriais de amostras de grãos das fazendas experimentais Marilândia, Sooretama e Bananal do Norte, preparadas pelo processo natural, utilizando a escala de qualidade do protocolo de degustação de cafés finos da CQI (*Coffee Quality Institute*), as cultivares ‘Jequitibá ES8122’ e ‘Centenária ES8132’ obtiveram, em média, 79,0 e 77,9 pontos, respectivamente, e foram classificadas como cultivares com cafés de qualidade superior (FERRÃO *et al.* 2015c).

Tabela 1- Características das cultivares ‘Jequitibá ES8122’ e ‘Centenária ES8132’, nas fazendas experimentais Marilândia, Sooretama e Bananal do Norte.

Características	‘Jequitibá ES8122’	‘Centenária ES 8132’
Número de clones	9	9
Época de maturação	Junho	Julho
Produtividade (sc/ha)*	88,70	82,40
Vigor vegetativo	7,90	8,20
Índice avaliação visual	8,00	8,10
CHO dos grãos (%)	12,70	10,90
Grãos moca (%)	24,80	26,40
Relação café (CE/BE)	4,20	4,20
Tamanho grãos (% > 13)	75,20	73,60
Peso de 100 grãos (g)	17,20	16,90
Nota de qualidade de bebida	79,00	77,90
Maturação dos frutos	Uniforme	Uniforme
Reação ferrugem	MR	MR

*= produtividade média sem irrigação; CHO = chochamento dos grãos; MR: moderada resistência a ferrugem; CE/BE = Relação café cereja e café beneficiado.

Fonte: Ferrão *et al.* (2015c)

2.3 Modificações fisiológicas e anatômicas em cafeeiros submetidos a déficit hídrico

O estresse hídrico restringe uma série de processos morfológicos, fisiológicos e bioquímicos, impactando negativamente o crescimento das plantas, absorção de nutrientes, assimilação e partição de carbono (FAHAD *et al.*, 2017; LAMAOU *et al.*, 2018). Alterações morfofisiológicas causadas pelo déficit hídrico podem influenciar diretamente na maneira como as plantas reagem ao estresse abiótico (TORRE *et al.*, 2021).

Em consequência do déficit hídrico, as folhas podem ser afetadas inicialmente, uma vez que estas são um dos principais órgãos vegetativos (HASANAGIC *et al.*, 2020). As folhas têm grande representatividade na resistência hidráulica da planta e, portanto, limitam as trocas gasosas e a eficiência fotossintética (NARDINI; ÕUNAPUU-PIKAS; SAVI, 2014).

Fatores como disponibilidade hídrica, condições luminosas e temperatura, estão diretamente relacionados com a regulação da atividade fotossintética da planta (MORAIS *et al.*, 2003). O estresse hídrico impacta negativamente os processos fisiológicos, com redução nas taxas fotossintéticas por meio de limitações na condutância estomática (FLEXAS *et al.*, 2006; ZHOU *et al.*, 2013).

A maior eficiência no uso da água é alcançada pelo aumento da fotossíntese líquida na manutenção da condutância estomática e mesofílica (DaMATTA *et al.*, 2016). A taxa de transpiração, variável de acordo com a disponibilidade hídrica a que a cultura está submetida,

mostra que a planta pode ativar mecanismos de defesa de perda de água quando a umidade do solo é deficiente. Esse mecanismo pode ser prejudicial ao crescimento total e desenvolvimento vegetal, mas garante a sobrevivência, desde que o déficit hídrico não seja muito severo e persistente (MELO *et al.*, 2014).

A regulação estomática é um processo chave, intrinsecamente ligado à fotossíntese e às relações hídricas. Esse mecanismo permite que a planta se adapte rapidamente à mudança de estímulos bióticos e abióticos (CRAPARO *et al.*, 2017). O fechamento estomático diminui a transpiração excessiva, todavia, ocorre queda no influxo de CO₂, diminuindo as taxas fotossintéticas (BLANKENAGEL *et al.*, 2018; TORRE *et al.*, 2021). Outra consequência da redução da condutância estomática é a menor perda de calor latente, aumentando de maneira expressiva a temperatura das folhas (DaMATTA *et al.*, 2019).

Ao regular os fluxos de troca gasosa (CO₂ e H₂O), os estômatos são responsáveis por manter o equilíbrio, buscando maximizar os ganhos fotossintéticos e minimizar a perda de água (JONES, 2014). Em condição de déficit hídrico a redução da abertura estomática é um dos primeiros mecanismos utilizado pelo cafeeiro para reduzir a perda de água pela transpiração (MELO *et al.*, 2014; RONCHI *et al.*, 2015).

Com o fechamento estomático e preservação da H₂O, a disponibilidade de CO₂ diminui nos sítios de carboxilação da RuBisCO nos cloroplastos (DaMATTA; COCHICHO RAMALHO, 2006; PELOSO *et al.*, 2017). Em resposta direta a alterações celulares induzidas por diferentes tipos de estresse ocorre a superprodução de espécies reativas de oxigênio (EROs) (HASANUZZAMAN *et al.*, 2013; TESKEY *et al.*, 2015; AWASTHI; BHANDARI; NAYYAR, 2015), geradas a partir do desbalanço de energia, consequência do seu uso limitado nas reações fotoquímicas.

O estresse hídrico pode provocar declínio no desenvolvimento foliar e perda das folhas, reduzindo assim, a área fotossinteticamente ativa, e conseqüentemente, diminuição nas taxas fotossintéticas, o que causa prejuízos no crescimento e produtividade das culturas (DaMATTA COCHICHO RAMALHO, 2006). Cafeeiros arábica podem ser fortemente afetados pela baixa disponibilidade hídrica, podendo sofrer decréscimos de 43 a 46% da fotossíntese líquida e de 52 a 60% da condutância estomática (CAVATTE *et al.*, 2012). A concentração dos pigmentos fotossintéticos também pode ser afetada pelo estresse hídrico (PELOSO *et al.*, 2017), já que esse estresse é caracterizado por perda de clorofila e um declínio progressivo na capacidade fotossintética das plantas.

Do ponto de vista ecofisiológico, as cultivares de café tolerantes à seca são capazes de manter um balanço entre a absorção e a perda de água durante períodos de seca prolongadas, o que se atribui a uma combinação de enraizamento profundo e adequado controle estomático da transpiração (DaMATTA *et al.*, 2003; PINHEIRO *et al.*, 2005).

O potencial hídrico do cafeeiro também é diretamente afetado pela baixa disponibilidade de água no solo, de maneira que, quando é aumentada a severidade da restrição hídrica, os valores de potencial hídrico caem (ficam mais negativos), principalmente quando também ocorre elevação de temperatura e luminosidade (SILVA *et al.*, 2015; RONCHI *et al.*, 2015; SILVEIRA *et al.*, 2016).

Em clones de Conilon, os principais mecanismos fisiológicos de tolerância ao déficit hídrico são: eficiência de extração de água do solo que pode ser proporcionada pelo desenvolvimento do sistema radicular e pelas taxas de uso da água pelas plantas (DaMATTA *et al.*, 2003; PINHEIRO *et al.*, 2005; DAMATTA; RAMALHO, 2006; SILVA *et al.*, 2010).

Clones com produtividades relativamente elevadas, em condições de seca, conseguem manter potenciais hídricos foliares adequados, por meio do aumento no controle estomático (SILVA *et al.*, 2010). Além disso, algumas características bioquímicas também são importantes para o aumento da tolerância ao estresse hídrico, dentre elas, a manutenção da capacidade de transporte de fotoassimilados da parte aérea para as raízes, que pode permitir maior crescimento radicular e, dessa forma, maior acesso a horizontes mais profundos do solo, de modo a aumentar a absorção de água (RONCHI; DaMATTA, 2007).

À medida que se reduz a disponibilidade de água no solo, ocorre diminuição do conteúdo relativo de água (CRA) nas folhas, levando à desidratação do protoplasma e prejudicando o crescimento celular (PELOSO *et al.*, 2017). Alguns estudos demonstram que o CRA também pode ser um indicativo de maior tolerância ao déficit hídrico, pois a maior retenção de água no tecido foliar pode estar relacionada com um incremento da parede celular, promovendo regulação da transpiração celular (SILVA *et al.*, 2014; CANAVAR *et al.*, 2014).

Diversos estudos têm sido realizados utilizando características anatômicas e fisiológicas em cafeeiros em diferentes ambientes, com resultados que indicam o potencial destes parâmetros para caracterização e distinção de plantas mais adaptadas a diferentes ambientes de cultivo (BATISTA *et al.*, 2010; GRISI *et al.*, 2008; QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2014; RAMIRO *et al.*, 2004; REIS, 2013; CASTANHEIRA *et al.*, 2016; CASTANHEIRA *et al.*, 2019; BALIZA *et al.*, 2012; NASCIMENTO *et al.*, 2006; GAMA *et al.*, 2017; OLIVEIRA, 2013).

Alterações anatômicas desempenham um papel fundamental nas respostas das plantas à seca (TORRE *et al.*, 2021). Variações na estrutura das folhas estão, na maioria das vezes, ligadas aos diferentes habitats a que são submetidos indicando respostas importantes na plasticidade das plantas, ou seja, capacidade de alterar sua morfologia ou fisiologia de acordo com o ambiente exposto (DIAS *et al.*, 2005).

Dessa maneira, modificações nas estruturas da planta, tais como maior desenvolvimento de estruturas, como espessura do limbo, vasos condutores, dimensões estomáticas (NASCIMENTO *et al.*, 2006; PINHEIRO *et al.*, 2005) podem favorecer a sobrevivência da planta em condições de adversidade (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2014).

De acordo com variações na temperatura, radiação solar, disponibilidade de água e nutrientes no solo, a planta pode sofrer modificações na anatomia foliar, incluindo dimensões, densidade e índice estomático, de maneira que permita um bom desenvolvimento nessas condições (GRISI *et al.*, 2008; BALIZA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014; GAMA *et al.*, 2017).

A funcionalidade estomática (relação DP/DE) é um bom indicativo do formato dos estômatos, de maneira que, quanto maior esta relação, o formato do estômato é mais elipsoide, proporcionando aumento da funcionalidade, e a diminuição desta relação, o estômato fica menos elipsoide, o que diminui sua funcionalidade (GRISI *et al.*, 2008; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; BATISTA *et al.*, 2010; BALIZA *et al.*, 2012). Segundo Batista *et al.* (2010), estômatos mais elípticos permitem uma menor transpiração, aumentando a funcionalidade do mesmo.

Em ambientes com menor disponibilidade hídrica pode ocorrer diminuição no tamanho dos estômatos das plantas, o que pode ser considerado benéfico, visto que leva a quedas na transpiração, ou seja, diminui a perda de água e aumenta a eficiência de seu uso (GRISI *et al.*, 2008; BATISTA *et al.*, 2010).

2.4 Estresse oxidativo e mecanismo de defesa antioxidante no cafeeiro

As plantas sob déficit hídrico induzem o fechamento estomático diminuindo a entrada de CO₂, e conseqüentemente provoca limitações fotossintéticas. O excesso de energia luminosa reduz a fixação de carbono durante períodos de seca, e além disso, pode produzir altas concentrações de espécies reativas de oxigênio (EROs) (KAR, 2011; CHOUDHURY *et al.*, 2017). As EROs incluem oxigênio singlete, radical superóxido, radical hidroxila e peróxido de hidrogênio (MITTLER, 2017; SOARES *et al.*, 2019), e são produzidas normalmente em

pequenas proporções, pois são subprodutos da respiração e fotossíntese (SHARMA; DIETZ, 2012).

Em menores concentrações, as EROs podem ser benéficas, atuando como mensageiras ou sinalizadoras para respostas do sistema de defesa das plantas (MILLER *et al.*, 2010; SHARMA *et al.*, 2012). No entanto, quando os níveis de EROs superam os mecanismos de defesa, as células vegetais são submetidas ao estresse oxidativo, o que afeta diretamente o funcionamento celular normal (XIA *et al.*, 2016). Em condição de estresse hídrico, a superprodução de EROs leva a danos celulares pela oxidação de proteínas, peroxidação de lipídios e até mesmo morte da planta (AZAD *et al.*, 2021; GARCÍA-CAPARRÓS *et al.*, 2020).

O estresse hídrico intensificado leva a uma superprodução de H_2O_2 , que leva à desestabilização da integridade da membrana celular (NALINA *et al.*, 2021). Isso pode estar relacionado ao grau de dano causado à membrana, que é usado para medir a tolerância ao estresse (CRUZ DE CARVALHO, 2008). Em pesquisas realizadas com a cultura da cana-de-açúcar (BOARETTO *et al.*, 2014; CIA *et al.*, 2012) e milho (ANJUM *et al.*, 2017; CHEN *et al.*, 2016), o aumento do nível de H_2O_2 foi associado ao estresse hídrico, o que causou danos no metabolismo celular em cultivares com maior sensibilidade.

Apesar do seu efeito deletério, o peróxido de hidrogênio é considerado uma molécula sinalizadora que está envolvida em vias de tradução de sinal para resposta ao estresse (SHARMA *et al.*, 2012). Dentre as EROs, o H_2O_2 é eficiente na sinalização do estresse devido a sua meia-vida mais longa, maior estabilidade e capacidade de se difundir livremente pelas membranas celulares (ANDRADE *et al.*, 2018). Nesse sentido, níveis mínimos de H_2O_2 contribuem indiretamente no equilíbrio entre a produção e neutralização.

A superprodução de EROs causa peroxidação lipídica, ocorrendo reações em cadeia e criando radicais livres, resultando em desnaturação lipídica (AHMAD *et al.*, 2019; HASANUZZAMAN *et al.*, 2020). A peroxidação lipídica, causa disfunções oxidativas de proteínas, DNA e RNA, juntamente com formação de algumas substâncias aldeídas, como o malondialdeído (MDA) (DEMIDCHIK, 2015; BANERJEE; ROYCHOUDHURY, 2018).

O aumento do malondialdeído (MDA) indica danos causados às membranas celulares (HASSAN *et al.*, 2021). O MDA é um eficiente marcador molecular utilizado para designar a peroxidação lipídica nas células das plantas submetidas a diferentes estresses abióticos, principalmente o déficit hídrico (CARVALHO, 2008; GILL; TUTEJA, 2010; SHARMA *et al.*, 2012).

Menores níveis de MDA em condição de déficit hídrico, indicam resposta eficiente do sistema de defesa antioxidante da planta (ANJUM *et al.*, 2017; CARVALHO, 2008), podendo diferenciar plantas com maior tolerância ou mais adaptadas ao estresse hídrico (BOARETTO *et al.*, 2014; SALES *et al.*, 2015), já os níveis elevados de MDA nestas condições, podem causar danos às plantas, tornando-as mais sensíveis frente ao estresse em relação às outras (ANJUM *et al.*, 2017).

O sistema de eliminação das EROs é constituído por vários antioxidantes de baixo peso molecular como o ascorbato (AsA), a glutathiona (GSH), aminoácidos não proteicos, compostos fenólicos, tocoferol, alcaloides, e enzimas antioxidantes como a dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX) e glutathiona redutase (GR), glutathiona peroxidase (GST), glutathiona S-transferase (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020) que funcionam de forma complementar para manter a homeostase celular, prevenindo danos oxidativos.

O AsA é um dos mais importantes antioxidantes não enzimáticos (BARBOSA *et al.*, 2014). Tendo potencial para doar elétrons como coenzima, o AsA participa da eliminação de EROs, e também participa na regeneração de α -tocoferol a partir do radical tocoferol sequestrando $O_2^{\cdot-}$ e $\cdot OH$. O AsA é um cofator enzimático no ciclo ascorbato-glutathiona (GILL; TUTEJA, 2010), auxiliando na manutenção da homeostase celular sob diferentes estresses. Ao regular o estado da água celular, o AsA melhora a desintoxicação enzimática de EROs (H_2O_2) para proteger as células (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020).

A dismutase do superóxido (SOD) é uma metaloenzima, que age como primeira linha de defesa e ativação do sistema antioxidante, que por sua vez, catalisa a dismutação de radicais superóxidos, resultando na produção de H_2O_2 e O_2 (BARBOSA *et al.*, 2014; DAS; ROYCHOUDHURY, 2014; HASANUZZAMAN *et al.*, 2020), o que também reduz a formação de radicais de hidroxila via reação de Haber-Weiss (GILL *et al.*, 2015).

A SOD participa da modulação do nível de H_2O_2 em cloroplastos, mitocôndrias, citosol e peroxissomos (MITTLER, 2002; BHATTACHARJEE, 2010). Essas enzimas são classificadas de acordo com seus cofatores metálicos: cobre e zinco (Cu/ZnSOD), manganês (Mn-SOD) e ferro (Fe-SOD) (GILL; TUJETA, 2010). Maiores níveis de SOD estão inter-relacionados com a severidade do estresse hídrico, duração da exposição e espécies (ZHANG; KIRKHAM, 1996). O aumento da atividade da SOD indica a indução de mecanismo de fotoproteção, a fim de eliminar as EROs e minimizar o estresse sofrido (HASSAN *et al.*, 2021).

As enzimas catalase (CAT) e peroxidase do ascorbato (APX) se destacam na eliminação do H_2O_2 , produto da ação da SOD (BARBOSA *et al.*, 2014; BHATT; TRIPATHI, 2011). A

CAT neutraliza o H_2O_2 , em H_2O e O_2 , sendo muito eficiente, principalmente quando o H_2O_2 está em grandes concentrações, eliminando as EROs, quando as plantas estão sob estresse (BARBOSA *et al.*, 2014; DAS; ROYCHOUDHURY, 2014).

Deuner *et al.* (2011), trabalhando com mudas de cafeeiro em diferentes regimes hídricos, observaram aumento da atividade da enzima catalase à medida que foi aumentada a severidade do déficit hídrico, sendo os maiores valores observados nas plantas do tratamento com supressão gradativa da irrigação, seguido pelo tratamento com supressão total da irrigação.

A peroxidase do ascorbato (APX), faz parte do ciclo ascorbato-glutationa (AsA-GSH), sendo que neste ciclo, uma molécula de ascorbato é utilizada para reduzir H_2O_2 à água (SHARMA *et al.*, 2012). Todas as isoformas da APX funcionam para capturar H_2O_2 , mas a atividade cessa sem a presença de AsA (HASANUZZAMAN *et al.*, 2019). Dentro do ciclo AsA-GSH a APX participa na desintoxicação de H_2O_2 e oxida AsA para produzir monodesidroascorbato e subseqüente desidroascorbato (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020).

Maior atividade das enzimas antioxidantes é relacionada ao papel dessas enzimas na redução/neutralização das EROs, produzidas em situações de estresse, visando a homeostase celular (HÖLLER; MEYER; FREI 2014; SHARMA; DIETZ, 2006). Em espécies de plantas sob estresse, o aumento do desempenho do sistema antioxidante está relacionado com a redução dos níveis de EROs e integridade da membrana celular (CHU *et al.*, 2018).

Trabalhando com *Camellia sinensis* em condição de estresse hídrico, Nalina *et al.* (2021) constataram maior atividade enzimática antioxidante (SOD, APX, POX) em genótipos com maior tolerância ao déficit hídrico, que resultou em declínio acentuado dos níveis de O_2 e H_2O_2 .

Dos Santos *et al.* (2019) avaliando respostas fisiológicas de mudas de café (*Coffea arabica*), verificaram que o estresse causado pela deficiência e pelo excesso de Zn aumentaram a produção de peróxido de hidrogênio, atividade de enzimas antioxidantes, ascorbato e teor de peroxidação lipídica. Em pequenas concentrações o peróxido pode ser um sinalizador para a planta (GILL; TUTEJA, 2010).

Estudos com a cultura do café em condição de estresse hídrico, mostraram aumento do nível de espécies reativas de oxigênio (DaMATTA *et al.*, 2018; LIMA *et al.*, 2002; PINHEIRO *et al.*, 2004), podendo acarretar danos celulares, inibição enzimática, peroxidação lipídica, oxidação de proteínas, e até mesmo ativação da via de morte celular caso não haja neutralização das mesmas (KAN; HONG-MEI; CHANG-HAI, 2010).

2.5 Metabolismo de carboidratos em cafeeiro

Os carboidratos são biomoléculas de poli-hidroxi aldeídos ou poli-hidroxi cetonas, ou substâncias que quando passam por hidrólise geram esses compostos. As três principais classes de carboidratos são: monossacarídeos, dissacarídeos e polissacarídeos (NELSON; COX, 2018). O metabolismo de carboidratos está diretamente ligado ao crescimento das plantas, e sua dinâmica é afetada por condições estressantes (CHAVES; OLIVEIRA, 2004).

Os principais carboidratos formados são os não-estruturais, como o amido e açúcares solúveis redutores e não-redutores, nos quais a sacarose é o principal açúcar translocável (LAVIOLA *et al.*, 2007; ALVES *et al.*, 2011).

É na folha (fonte) que ocorre a síntese de carboidratos, e posteriormente são translocados para os tecidos (drenos) na forma de sacarose, para suprir o metabolismo vegetal ou para acúmulo na forma de sacarose ou amido (LEITE *et al.*, 2009). Esse carboidrato desempenha importantes funções na planta, como a distribuição de fotoassimilados, fonte de carbono para manter o metabolismo, ocorrendo frequentes alterações nas relações fonte-dreno, ao longo da vida do vegetal (ROITSCH; GONZÁLEZ, 2004).

Os açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) são reguladores de processos fisiológicos, como: fotossíntese, germinação de sementes, floração, senescência, entre outros, sob estresses abióticos (SAMI *et al.*, 2016), e são de fundamental importância na estrutura geral e no crescimento das plantas. O aumento no teor de açúcares promove maior investimento em crescimento e desenvolvimento, tornando as plantas mais resistentes em caso de estresse mais severo (KANECHI *et al.*, 1988; CHEN *et al.*, 2020).

Em condições de falta de água a conversão de amido em açúcares solúveis aumenta a concentração de compostos carbonados nas folhas, o que auxilia no controle osmótico da planta (MESQUITA *et al.*, 2020). Dessa maneira, a célula mantém o seu turgor, possibilitando a manutenção do aparelho fotossintético, garantindo a assimilação de carbono pela planta (HU *et al.*, 2015).

O acúmulo de açúcar solúvel total aumenta o conteúdo de prolina e estimula a atividade de enzimas antioxidantes sob estresse abiótico (HELLMAN *et al.*, 2000; SINGH *et al.*, 2015). O acúmulo de açúcar também impede a oxidação de células da membrana sob deficiência de água, mantém a turgidez das folhas e previne a desidratação de membranas e proteínas (KRASENSKY; JONAK, 2012).

A produção e translocação de carboidratos e acúmulo de solutos osmoticamente ativos e reservas energéticas, é uma das respostas de tolerância ao estresse em plantas (ZHOU *et al.*, 2020). Quando as plantas estão sob déficit hídrico as concentrações de açúcares contribuem com a manutenção e estabilidade da membrana, além de manter as proteínas de modo a permanecerem funcionais (LIPIEC *et al.*, 2013).

O cafeeiro pode ter sua reserva de carboidratos limitada com a imposição do déficit hídrico, devido ao consumo de suas reservas energéticas para a manutenção da respiração (DaMATTA *et al.*, 2018; CAMPOS *et al.*, 2019).

Reduções nos conteúdos de açúcares solúveis totais (AST) em condição de seca, podem indicar baixo potencial osmorregulador das plantas, sendo que esta diminuição pode estar associada ao consumo destes compostos para manutenção de funções vitais. Maiores concentrações de AST tem grande importância para o crescimento das plantas, pois são carboidratos fundamentais para o metabolismo vegetal, como na formação de compostos orgânicos para o acúmulo de reservas energéticas, carboidratos estruturais, ou açúcares de translocação, no caso da sacarose (ALVES *et al.*, 2011; BUCHELT *et al.*, 2020).

O cafeeiro consegue concentrar amido em seus tecidos foliares sem afetar seu desempenho fotossintético e, esse acréscimo nos níveis de amido pode trazer aumentos significativos na fase de ‘enchimento de grãos’ (BATISTA *et al.*, 2012; DaMATTA *et al.*, 2016). A espécie *C. canephora* é capaz de acumular grandes concentrações foliares de amido (14% em base massa seca) sem qualquer limitação da fotossíntese (MORAIS *et al.*, 2012).

REFERÊNCIAS

- ADEPOJU, A. F. *et al.* Coffee: Botany, Distribution, Diversity, Chemical Composition and Its Management. **IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science**, [S.l.], v. 10, n. 7, p. 57-62, 2017.
- AHMAD, P. *et al.* Silicon (Si) supplementation alleviates NaCl toxicity in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] through the modifications of physio-biochemical attributes and key antioxidant enzymes. **Journal of Plant Growth Regulation**, [S.l.], v. 38, n. 1, p. 70-82, 2019.
- ALVES, J. D. *et al.* Source-sink manipulations in *Coffea arabica* L. and its effect on growth of shoots and root system. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 35, n. 5, p. 956 -964, 2011.
- ANJUM, S. A. *et al.* Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 8, 2017.
- ANDRADE, C. A. *et al.* Hydrogen peroxide promotes the tolerance of soybeans to waterlogging. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 232, p. 40-45, 2018.
- AWASTHI, R.; BHANDARI, K.; NAYYAR, H. Temperature stress and redox homeostasis in agricultural crops. **Frontiers in Environmental Science**, [S.l.], v. 3, p. 11, 2015.
- AZAD, N. *et al.* Physiological mechanism of salicylic acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress. **Brazilian Journal of Botany**, [S.l.], v. 44, n. 2, p. 1-11, 2021.
- BALIZA, D.P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.
- BANERJEE, A.; ROYCHOUDHURY, A. Abiotic stress, generation of reactive oxygen species, and their consequences: An overview. *In: Reactive Oxygen Species in Plants: Boon or Bane- Revisiting the Role of ROS. In: SINGH, V.P.; SINGH, S.; TRIPATHI, D.K.; PRASAD, S.M.; CHAUHAN, D.K. (Eds.) Chichester UK: John Wiley & Sons Ltda. 2018. p. 23-50, 2018.*
- BARBOSA, M. R. *et al.* Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BATISTA, K.D. *et al.* Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. **Trees**, [S.l.], v. 26, p. 459-468, 2012.
- BATISTA, L.A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, [S.l.], v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BERTHAUD, J. Les ressources génétiques pour l'amélioration des caféiers africains diploïdes. Evaluation de la recherche génétique des populations sylvestres et ses mécanismes organisateurs. **Consequences pour l'application**, Montpellier, France: ORSTOM, 1986. 379 p.

- BHATT, I.; TRIPATHI, B. N. Plant peroxiredoxins: catalytic mechanisms, functional significance and future perspectives. **Biotechnology advances**, [S.l.], v. 29, n. 6, p. 850-859, 2011.
- BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. *In*: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfi eld: Science Publishers, 2010. p.1-30.
- BLANKENAGEL, S. *et al.* Generating plants with improved water use efficiency. **Agronomy**, [S.l.], v.8, n. 194, p. 1-13, 2018.
- BOARETTO, L. F. *et al.* Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S.l.], v. 74, p. 165-175, 2014.
- BOLFE, E. L.; SANO, E. E.; CAMPOS, S. K. **Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções**. Embrapa Informática Agropecuária-Livro científico (ALICE), 2020.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/2018 - 2027/2028** projeções de longo prazo. Brasília, DF, 2018. 112 p. Disponível em: <https://www.gov.br/projecocoes-do-agronegocio-2018>. Acesso em: 10 nov. 2021.
- BRIGE, F. A. A. *et al.* Genetic variability in Conilon coffee related to grain attributes in an irrigated crop in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 54, 2019.
- BUHELDT, A. C. *et al.* Silicon contribution via nutrient solution in forage plants to mitigate nitrogen, potassium, calcium, magnesium, and sulfur deficiency. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, [S.l.], v. 20, p. 532-1548, 2020.
- CAMPOS, C. N. *et al.* Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 211, p. 37-47, 2019.
- CANAVAR, O. *et al.* Determination of the relationship between water use efficiency, carbon isotope discrimination and proline in sunflower genotypes under drought stress. **Australian Journal of Crop Science**, [S.l.], v. 8, n. 2, p. 232, 2014.
- CARVALHO, M. H. C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant Signaling & Behavior**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 156-165, 2008.
- CASTANHEIRA, D. T. *et al.* Potencial de utilização de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro. **Coffee Science**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 375-385. 2016.
- CASTANHEIRA, D. T. *et al.* Growth, anatomy and physiology of coffee plants intoxicated by the herbicide glyphosate. 2019. **Coffee Science**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 76 - 82, 2019.

CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.

CAVATTE, P. C. *et al.* Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, n. 2, p. 111-122, 2012.

CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 55, n. 407, p. 2365–2384, 2004.

CHEN, D. *et al.* Genotypic variation in growth and physiological response to drought stress and re-watering reveals the critical role of recovery in drought adaptation in maize seedlings. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 6, p. 1241, 2016.

CHEN, Z. *et al.* Water-nutrient management enhances root morpho-physiological functioning, phosphorus absorption, transportation and utilization of cotton in arid region. **Industrial Crops & Products**, [S.l.], v. 143, 2020.

CHOUDHURY, F.K. *et al.* Reactive oxygen species, combination abiotic stress and stress. **The Plant Journal**, [S.l.], v. 90, p. 856–867, 2017.

CHU, W. *et al.* Effects of cuticular wax on the postharvest quality of blueberry fruit. **Food Chem.**, [S.l.], v. 239, 68-74, 2018.

CIA, M. C. *et al.* Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and-sensitive sugarcane varieties. **Annals of Applied Biology**, [S.l.], v. 161, n. 3, p. 313-324, 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2022 - primeiro levantamento**. Brasília: Conab, 2022. 54 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 jun. 2022.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2021 - primeiro levantamento**. Brasília: Conab, 2021. 64 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 jan. 2022.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2020 - terceiro levantamento**. Brasília: Conab, 2020. 54 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 nov. 2020.

CRAPARO, A. C. W. *et al.* Application of thermography for monitoring stomatal conductance of *Coffea arabica* under different shading systems. **Science of The Total Environment**, [S.l.], v. 609, p. 755-763, 2017.

CRUZ DE CARVALHO, M.H. Drought stress and reactive oxygen species. **Plant Signal Behav**, [S.l.], v. 3, p. 156-165, 2008.

DaMATTA, F. M. *et al.* Why could the coffee crop endure climate change and global warming to a greater extent than previously estimated? **Climatic Change**, v. 152, p. 167-178, 2019.

DaMATTA, F. M. *et al.* 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**, [S.l.], v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.

DaMATTA, F. M. *et al.* Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. **J. Exp. Bot.**, [S.l.], v. 67, p. 341-52, 2016.

DaMATTA, F.M. *et al.* Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, [S.l.], v. 164, p. 111-117, 2003.

DaMATTA, F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. **Advances in Plant Physiology**, [S.l.], v. 5, p. 227-265, 2003.

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

DAS, K.; ROYCHOUDHURY, A. Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. **Frontiers in Environmental Science**, [S.l.], v. 2, p. 53, 2014.

DAVIS, A. *et al.* Growing coffee: Psilanthus (Rubiaceae) subsumed on the basis of molecular and morphological data, implications of size, morphology, distribution and evolutionary history of Coffee. **Botanical Journal of Rehinnean Society**, [S.l.], v. 167, p. 1-21, 2011.

DEMIDCHIK, V. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. **Environ. Expt. Bot.**, [S.l.], v. 109, p. 212-228, 2015.

DEUNER, S. *et al.* Stomatal behavior and components of the antioxidative system in coffee plants under water stress. **Scientia Agricola**, [S.l.], v. 68, p. 77-85, 2011.

DIAS, P. C. *et al.* **Relações hídricas e trocas gasosas em duas progênes de café submetidas a déficit hídrico moderado.** 2005. Disponível em: http://www.sapc.embrapa.br/arquivos/consorcio/spcb_anais/simposio4/p63.pdf. Acesso em: 03 abr. 2021.

DOS SANTOS, J. O. *et al.* Impact of zinc stress on biochemical and biophysical parameters in *Coffea arabica* seedlings. **Journal of Crop Science and Biotechnology**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 253-264, 2019.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Produção mundial de café robusta deve atingir 77,1 milhões de sacas de 60kg na safra 2021-2022 e quebrar recorde histórico.** Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/65533440/producao-mundial-de-cafe-robusta-deve-atingir-771-milhoes-de-sacas-de-60kg-na-safra-2021-2022-e-quebrar-recorde-historico>. Acesso em: 12 abr. 2022.

FAHAD, S. *et al.* Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. **Frontiers in plant science**, [S.l.], v. 8, p. 1147, 2017.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. **The future of food and agriculture trends and challenges: food and agriculture**. 2017. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.

FERNANDES, A. L. T. *et al.* Associação da adubação orgânica com a irrigação na produção de café no cerrado Mineiro. **Revista Ambiente & Água**, [S.l.], v. 15, n. 5, e2578, 2020.

FERNANDES, A. L. T. *et al.* A moderna cafeicultura dos cerrados brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [S.l.], v. 42, p. 231-240, 2012.

FERRÃO, R.G. *et al.* **Conilon coffee**. The *Coffea canephora* produced in Brazil. 3 ed. Vitória, Espírito Santo, Incaper, 2019. 976 p.

FERRÃO *et al.* Cultivares de Café Conilon. In: FERRÃO, R. G.; FONSECA, A. F. A. da.; FERRÃO, M. A. G.; MUNER, L. H. **Café Conilon**, 2. ed. atual. ampl. reimp. Vitória, ES: Incaper, 2017. p. 784.

FERRÃO, R.G. *et al.* **Genética e melhoramento**: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. Incaper em Revista, Vitória, v. 6-7, n. 4, p. 51-71, 2016.

FERRÃO, R. G. *et al.* **ES8122 - Jequitibá**: nova variedade clonal de café conilon de maturação intermediária para o Espírito Santo. Vitória, ES: Incaper (Incaper. Documentos, 220), 2015a.

FERRÃO, R. G. *et al.* **Centenária ES8132**: nova variedade clonal de café conilon de maturação tardia para o Espírito Santo. Vitória: Incaper (Incaper, documento. 221), 2015b.

FERRÃO, R. G. *et al.* ‘Diamante ES 8112’, ‘ES 8122–Jequitibá’ e ‘Centenária ES 8132’: novas cultivares clonais de café conilon com qualidade de bebida para o Espírito Santo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 9., 2015c., Espírito Santo. **Anais** [...]. Espírito Santo, 2015c.

FERRÃO, R. G. *et al.* Café Conilon: cultivares melhoradas sustentáveis. **Incaper em Revista**. Vitória, ES: Incaper, 2014. V. 4 e 5.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A. da. **Variedades clonais de café conilon**: 10 passos em 12 anos de pesquisa. Vitória, ES: Incaper, 2013. (Incaper, documento 218).

FERRÃO, R. G. *et al.* **Café conilon**: técnicas para produção com variedades melhoradas. 4. ed. rev. e ampl. Vitória, ES: Incaper (Circular Técnica, 03-I), 2012. p.74.

FERRÃO, R. G. *et al.* (Eds). **Café conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. p. 702.

- FLEXAS, J. *et al.* Decreased Rubisco activity during water stress is not induced by decreased relative water content but related to conditions of low stomatal conductance and chloroplast CO₂ concentration. **New Phytol.**, [S.l.], v. 172, p. 73-82, 2006.
- GARCÍA-CAPARRÓS, P. *et al.* Oxidative stress and antioxidante metabolism under adverse environmental conditions: a review. **The Botanical Review**, [S.l.], [S.v.], [S.n.], p. 1-46, 2020.
- GAMA, T. C. P. *et al.* Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de cafeeiros em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 42 - 48, 2017.
- GILL, S.S. *et al.* Superoxide dismutase—Mentor of abiotic stress tolerance in crop plants. **Environ. Sci. Pollut. Res.**, [S.l.], v. 22, p. 10375-10394, 2015.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant physiology and biochemistry**, [S.l.], v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.
- GRISI, F. A. *et al.* Leaf anatomical evaluations in 'Catuaí' and 'Siriema' coffee seedlings submitted to water stress. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 32, p. 1730-1736, 2008.
- GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C. Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado. **ITEM, Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 65/66, p. 42-45, 2005.
- HASSAN, M.A.E. *et al.* Variability in drought response among the plus tree accessions of *Tectona grandis* (Linn f.) from the provenances of Kerala, South India. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 43, n.47, p. 1-12, 2021.
- HASANAGIC, D. *et al.* Long term drought effects on tomato leaves: anatomical, gas exchange and antioxidant modifications. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 42, n. 121, p. 1-14, 2020.
- HASANUZZAMAN, M. *et al.* Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Heat Stress Tolerance in Plants. **International Journal of Molecular Science**, [S.l.], v. 14, n. 5, p. 9643-84. 2013.
- HASANUZZAMAN, M. *et al.* Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: A review of recent experimental evidence. **Internacional Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 21, n. 8695, p. 1-42, 2020.
- HASANUZZAMAN, M. *et al.* Regulation of ascorbate-glutathione pathway in mitigating oxidative damage in plants under abiotic stress. **Antioxidants**, [S.l.], v. 8, n. 384, 2019.
- HELLMAN, H. *et al.* Hypersensitivity of an Arabidopsis sugar signaling mutant toward exogenous proline application. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 122, n. 2, p. 357-368, 2000.
- HÖLLER, S.; MEYER, A.; FREI, M. Zinc deficiency differentially affects redox homeostasis of rice genotypes contrasting in ascorbate level. **J. Plant Physiol.** [S.l.], v. 171, n. 18, p. 1748-56, 2014.

- HU, M. *et al.* Wheat acclimate to water deficit by modifying carbohydrates metabolism, water use efficiency, and growth. **Brazilian Journal of Botany**, [S.l.], v. 38, n. 3. p. 505-515, 2015.
- ICO. International Coffee Organization. **Estatísticas do comércio**: produção: total production by all exporting countries. London: ICO, 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Conheça o Brasil - **Território**: biomas brasileiros. Disponível em: <https://educa.ibge.gov.br/jovens/conheca-obrasil/territorio/18307-biomas-brasileiros.html>. Acesso em: 02 set. 2021.
- IVOGLO, M. G. *et al.* Divergência genética entre progênies de café robusta. **Bragantia**, [S.l.], v. 67, p. 823-831, 2008.
- JONES, H. G. **Plants and Microclimate**: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology. 3rd edn. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- KAR, R. K. Plant responses to water stress: Role of reactive oxygen species. **Plant Signaling & Behavior**, v. 6, p.1741-1745, 2011.
- KAN, J. K.; HONG-MEI, W.; CHANG-HAI, J. Changes of reactive oxygen species and related enzymes in mitochondria respiratory metabolism during the ripening of peach fruit. **Agricultural Sciences in China**, [S.l.], v. 9, n. 1, p. 138-146, 2010.
- KANECHI, M.; UCHIDA N.U.; YASUDA, T.; YAMAGUCHI, T. Relationships between leaf water potential and photosynthesis of *Coffea arabica* L. grown under various environmental conditions as affected by withholding irrigation and re-irrigation. **Japanese Journal of Tropical Agriculture**, [S.l.], v. 32, n.1, p. 16-21, 1988.
- KRASENSKY, J.; JONAK, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 63, n. 4, p. 1593-1608, 2012.
- LAMAQUI, M. *et al.* Heat and Drought Stresses in Crops and Approaches for Their Mitigation. **Frontiers in Chemistry**, [S.l.], v. 6, p. 26, 2018.
- LAVIOLA, B. G. *et al.* Alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro cultivado em duas altitudes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 42, p. 1521-1530, 2007.
- LEITE, G. H. P. *et al.* Reguladores vegetais e atividade de invertases em cana-de-açúcar em meio de safra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 718-725, 2009.
- LIPIEC, J. *et al.* Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. **International Agrophysics**, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 463-477, 2013.
- LIMA, A. L. S. *et al.* Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 47, p. 239-247, 2002.

- LIMA FILHO, T.; DELLA LUCIA, S.M.; SARAIVA, S.H.; LIMA, R.M. Características físico-químicas de bebidas de café tipo expresso preparadas a partir de blends de café arábica e conilon. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 333-339, 2015.
- LIMA FILHO, T. *et al.* Perfil sensorial e aceitabilidade de bebidas de café tipo expresso preparadas a partir de blends de café arábica e conilon. **Enciclopédia Biosfera**, [S.l.], v. 7, n. 12, p. 1-17, 2011.
- MARCOLAN, A. L.; ESPINDULA, M. C. (Ed.). **Café na Amazônia**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. p. 175-194.
- MELO, E. F. *et al.* Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* culti var siriema under drought conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, p. 25-33, 2014.
- MESQUITA, A. C. *et al.* Bactérias diazotróficas no crescimento inicial e alterações bioquímicas de *Vigna unguiculata* sob déficit hídrico. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 9, n. 8, p. e48498564, 2020.
- MILLER, G. A. D. *et al.* Reactive oxygen species homeostasis and signalling during drought and salinity stresses. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.], v. 33, n. 4, p. 453-467, 2010.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant in Science**, v. 9, p. 405-410, 2002.
- MITTLER, R. ROS are good. **Trends Plant Sci.**, [S.l.], v. 22, p. 11-19, 2017.
- MORAIS, H. *et al.* Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com quando e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.
- MORAIS, L. E. *et al.* The effects of pruning at different times on the growth, photosynthesis and yield of conilon coffee (*Coffea canephora*) clones with varying patterns of fruit maturation in southeastern Brazil. **Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 48, n. 2, p. 210-221, 2012.
- MOURA, S. D. *et al.* Avaliações físicas, químicas e sensoriais de blends de café arábica com café canephora (robusta). **Brazilian Journal Food Technology**, [S.l.], v. 10, n. 4, p. 271-277, 2007.
- NALINA, M. *et al.* Water déficit-induced oxidative stress and differential response in antioxidante enzymes of tolerant and susceptible tea cultivars under field condition. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 43, n. 10, p. 1-17, 2021.
- NARDINI, A.; ÔUNAPUU-PIKAS, E.; SAVI, T. When smaller is better: Leaf hydraulic conductance and drought vulnerability correlate to leaf size and venation density across four *Coffea arabica* genotypes. **Functional Plant Biology**, [S.l.], v. 41, p. 972-982, 2014.
- NASCIMENTO, E. A. do. *et al.* Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, 2006.

- NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 7.ed. Artmed, 2018.
- OLIVEIRA, N. K. de. **Características de anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímero hidrorretentor**. 2013. 55 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, 2013.
- PARTELLI, F. L.; ESPINDULA, M. C. **Café conilon: conhecimento para superar desafios**. Alegre, ES: CAUFES, 2019.
- PELOSO, A.F. *et al.* Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 389-399, 2017.
- PINHEIRO, H. A. *et al.* Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, [S.l.], v. 96, p. 101-108, 2005.
- PINHEIRO, H. A. *et al.* Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant science**, [S.l.], v. 167, n. 6, p. 1307-1314, 2004.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B. *et al.* Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.
- RAMALHO, J.C. *et al.* Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. plants. **Theor. Exp. Plant Physiol.**, [S.l.], v. 26, n.5-18, 2014.
- RAMIRO, D. A. *et al.* Caracterização anatômica de folhas de cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro. **Bragantia**, [S.l.], v. 63, p. 363-372, 2004.
- REIS, L. A. C. **Influência do glyphosate na anatomia e fisiologia de cultivares de café arábica**. 2013. 61 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2013.
- RIBEIRO, B. B. *et al.* Avaliação química e sensorial de blends de *Coffea canephora* Pierre e *Coffea arabica* L. **Coffee Science**, [S.l.], v. 9, n. 2, p. 178-186, 2014.
- ROITSCH, T.; GONZÁLEZ, M. Function and regulation of plant invertases: sweet sensations. **Trends in Plant Science**, London, v. 9, n. 12, p. 606-613, 2004.
- RONCHI, C.P. *et al.* Respostas ecofisiológicas de cafeeiros submetidos ao déficit hídrico para concentração da florada no Cerrado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 50, n. 1, p. 24-32, 2015.
- RONCHI, C. P.; DaMATTA, F. M. Aspectos fisiológicos do café conilon. *In*: FERRÃO, R.G. *et al.* (Ed.) **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 95-115.
- SALES, C. R. G. *et al.* Photosynthetic and antioxidant responses to drought during sugarcane ripening. **Photosynthetica**, [S.l.], v. 53, n. 4, p. 547-554, 2015.

SAMI, F. *et al.* Role of sugars under abiotic stress. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S.l.], v. 109, p. 54-61, 2016.

SHARMA, S.S.; DIETZ K. J. The significance of amino acids and amino acid-derived molecules in plant responses and adaptation to heavy metal stress. **J. Exp. Bot.** [S.l.], v. 57, n. 4, p. 711-726, 2006.

SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**, [S.l.], v. 2012, p. 1-26, 2012.

SILVA, P.E.M. *et al.* Wood density, but not leaf hydraulic architecture, is associated with drought tolerance in clones of *Coffea canephora*. **Trees**, [S.l.], v. 29, n. 6, p. 1687-1697, 2015.

SILVA, V.A. *et al.* Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta-enxerto tolerante. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 45, n. 5, p. 457-464, 2010.

SILVA, M. A. *et al.* Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, [S.l.], v. 30, n. 1, 2014.

SILVEIRA, H. R. de O. *et al.* Impactos da deficiência hídrica nas respostas ecofisiológicas e espectrais do cafeeiro consorciado com espécies madeireiras. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 3, p. 318-329, 2016.

SINGH, M. *et al.* Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 407-426, 2015.

SOARES, C.; CARVALHO, M.E.; AZEVEDO, R.A.; FIDALGO, F. Plants facing oxidative challenges-A little help from the antioxidant networks. **Environmental and Experimental Botany** [S.l.], v. 161, n. 7, p. 4-25, 2019.

TEIXEIRA, O.R.; PASSOS, F.R.; MENDES, F.Q. Qualidade físico-química e microscópica de 14 marcas comerciais de café torrado e moído. **Coffee Science**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 395-402, 2016.

TESKEY, R.; WERTN, T.; BAUWERAERTS, I.; AMEYE, M.; MCGUIRE, M.A.; STEPPE, K. Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. **Plant, Cell & Environment**, [S.l.], v. 38, p. 1699-1712, 2015.

TORRE, F.D. *et al.* Leaf morphophysiological changes induced by long-term drought in *Jatropha curcas* plants explain the resilience to extreme drought. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 185, n. 104381, p. 1-8, 2021.

USDA. United States Departmente of Agriculturure. **Coffee: World Markets and Trade**. 2020. Release-2021-June. Disponível em: <https://downloads.usda.library.cornell.edu/usda-esmis/files/m900nt40f/6m3129089/r494w654j/coffee.pdf>. Acesso em: 02 abr. 2022.

XIA, Y.; CHEN, T.; QIN, G.; LI, B.; TIAN, S. Synergistic action of antioxidative systems contributes to the alleviation of senescence in kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, [S.l.], v. 111, p. 15-24, 2016.

ZHANG, J.; KIRKHAM, M.B. Lipid peroxidation in sorghum and sunflower seedlings as affected by ascorbic acid, benzoic acid, and propyl gallate. **J Plant Physiol.**, [S.l.], v. 149, n. 5, p. 489-493, 1996.

ZHOU, H.; ZHOU, G.; HE, Q. ZHOU, L.; JI, Y.; ZHOU, M. Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 171, p. 1-10, 2020.

ZHOU, S. *et al.* How should we model plant responses to drought? An analysis of stomatal and non-stomatal responses to water stress. **Agric. For. Meteorol.**, [S.l.], v. 182, 204-214, 2013.

CAPÍTULO 2 ALTERAÇÕES FISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS, ANATÔMICAS FOLIARES E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE *Coffea canephora* NO CERRADO CENTRAL

RESUMO

As cultivares clonais Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 possuem alta capacidade produtiva em condições irrigadas, entretanto, necessitam estudos em outras regiões além do estado do Espírito Santo. Nesse sentido, objetivou-se identificar respostas adaptativas de clones das cultivares Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 nas condições de Cerrado Central, em sistema irrigado de produção, com um período de déficit hídrico controlado, por meio de características fisiológicas, anatômicas foliares, bioquímicas e produtividade de grãos. Foram utilizados clones de duas cultivares de cafés Conilon, sendo cinco da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 (ciclo intermediário), e seis da cultivar Centenária Incaper ES8132 (ciclo tardio). Foi adotado o manejo de irrigação com déficit hídrico controlado por cerca de 64 dias. A coleta de dados foi feita em três períodos, compreendendo o final do período de suspensão hídrica (FPSI), dois dias após o retorno da irrigação (2dARI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI), em 2019 e 2020. Avaliou-se a produtividade dos clones em 2018 e 2020, características fisiológicas por meio de trocas gasosas, potencial hídrico da antemanhã, índices de clorofila A, B e total, e o conteúdo relativo de água. As características anatômicas foliares avaliadas foram espessura da cutícula da face adaxial, espessura do limbo foliar, densidade e funcionalidade estomática, área total da região do floema, área total da região do xilema, diâmetro de vaso do xilema, frequência de vasos do xilema, condutividade hidráulica relativa e índice de vulnerabilidade do xilema. Avaliou-se também características bioquímicas por meio dos níveis de peróxido de hidrogênio, malondialdeído, a atividade das enzimas catalase, dismutase do superóxido, peroxidase do ascorbato e ascorbato. Os clones se diferenciaram quanto a produtividade e alterações fisiológicas, anatômicas e bioquímicas. O clone 207 tem maior produtividade dentre os clones da cultivar Jequitibá ES8122, e relação com a condutividade hidráulica relativa, taxa fotossintética líquida, atividade da peroxidase do ascorbato e nível de ascorbato, em alguns períodos de avaliação. O clone 203 tem maior relação com o número de vasos do xilema, área do xilema e área do floema em todos os períodos. O clone 302 tem maior relação com o diâmetro do vaso do xilema, condutividade hidráulica relativa, taxa fotossintética líquida, eficiência do uso da água e atividade da catalase em alguns períodos estudados. Os clones das duas cultivares apresentaram potencial para serem utilizados em sistema irrigado de produção no Cerrado Central, e os clones que se destacaram podem ser usados dentro do programa de melhoramento como parentais.

Palavras-chave: Cafeeiro. Café Conilon. Adaptabilidade.

ABSTRACT

The clonal cultivars Jequitibá ES8122 and Centenária ES8132 have high productive capacity under irrigated conditions, however, they need studies in other regions besides Espírito Santo. In this sense, the objective was to identify adaptive responses of clones of the cultivars Jequitibá ES8122 and Centenária ES8132 in the conditions of Central Cerrado region, in an irrigated production system, with a period of controlled water deficit, through physiological, leaf anatomical, biochemical and productivity characteristics of grain. Clones of two Conilon coffee cultivars were used, five of the cultivar Jequitibá Incaper ES8122 (intermediate cycle), and six of the cultivar Centenária Incaper ES8132 (late cycle). Irrigation management with controlled water deficit was adopted for about 64 days. Data collection was carried out in three periods, comprising the end of the water suspension period (FPSI), two days after the return of irrigation (2dARI) and three months after the return of irrigation (3mARI), in 2019 and 2020. Clones productivity in 2018 and 2020, physiological characteristics through gas exchange, pre-morning water potential, chlorophyll a, b and total and the relative water content were analyzed. The leaf anatomical characteristics evaluated were cuticle thickness of the adaxial face, leaf blade thickness, stomatal density and functionality, total area of the phloem region, total area of the xylem region, xylem vessel diameter, frequency of xylem vessels, conductivity relative hydraulics and xylem vulnerability index. Biochemical characteristics were also evaluated through the levels of hydrogen peroxide, malondialdehyde, the activity of catalase enzymes, superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and ascorbate. The clones differed in terms of productivity and physiological, anatomical and biochemical changes. Clone 207 showed the highest productivity among the clones of the cultivar Jequitibá ES8122, and it is related to relative hydraulic conductivity, net photosynthetic rate, ascorbate peroxidase activity and ascorbate level, in some evaluation periods. Clone 203 presented greater relationship with the number of xylem vessels, xylem area and phloem area in all periods. Clone 302 indicated greater relationship with xylem vessel diameter, relative hydraulic conductivity, net photosynthetic rate, water use efficiency and catalase activity in some periods studied. The clones of both cultivars demonstrated potential to be used in an irrigated production system in the Central Cerrado region, and the clones that stood out may be used within the breeding program as parents.

Keywords: Coffee tree. Conilon Coffee. Adaptability.

1 INTRODUÇÃO

O café é uma das principais *commodities* negociadas no mundo, sendo o *Coffea arabica* Linnaeu e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner comercializados em larga escala, por seus maiores impactos sociais e econômicos (FERRÃO *et al.*, 2019). O Brasil tem grande destaque na produção e exportação desse grão, sendo que em 2021 a produção atingiu 47,72 milhões de sacas, com produtividade média de 21,93 sc.ha⁻¹ para a espécie *Coffea arabica* e 43,41 sc.ha⁻¹ para a espécie *Coffea canephora* (CONAB, 2022).

A região do Cerrado possui concentração de chuva no verão e cinco a seis meses de período seco no inverno, que propicia o cultivo do café com condições ambientais semelhantes as encontradas em seu principal centro de origem. Contudo, o período seco prolongado, aliado à ocorrência de veranicos, torna fundamental o uso da irrigação para alcançar melhores produtividades.

O maior potencial produtivo na região do Cerrado se dá pela adoção de práticas mais sofisticadas como utilização de cultivares e clones superiores, adensamento de plantas, relevo suave que possibilita o uso de mecanização e técnicas de manejo irrigado, que favorece a obtenção de altas produtividades aliadas à maior qualidade dos grãos (CONAB, 2020; FERNANDES *et al.*, 2012). Além da aptidão para o cultivo de arábica (*Coffea arabica* L.), a região também apresenta áreas potenciais para o cultivo de café Conilon (*Coffea canephora* Pierre ex Froehner) (BRIGE *et al.*, 2019).

O manejo da irrigação com interrupção na estação seca (junho a agosto) por cerca de 70 dias, tem como finalidade uniformizar a florada, e dessa maneira, aumentar o número de frutos cereja. Além disso, a colheita coincide com a estação seca, o que evita fermentações indesejadas e resulta em melhor qualidade do café (GUERRA; ROCHA; RODRIGUES, 2005).

A ocorrência de períodos de déficit hídrico pode prejudicar o aparelho fotossintético das plantas, com danos nos níveis fotoquímico e bioquímico devido a impactos nos diversos pigmentos, funcionamento dos fotossistemas, atividades enzimáticas e integridade das membranas (GRANT *et al.*, 2010; FAHAD *et al.*, 2017). Para lidar com o estresse, as plantas podem apresentar mecanismos de respostas, como modificações fisiológicas, morfológicas, anatômicas e bioquímicas, que permitem manter suas funções (DaMATTA *et al.*, 2018; HASSAN *et al.*, 2021).

Os programas de melhoramento genético têm buscado identificar materiais genéticos que melhor se adaptem à região do Cerrado (BRIGE *et al.*, 2019). O Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper) lançou, em 2013, as cultivares Jequitibá ES8122 (ciclo intermediário) e a Centenária ES8132 (ciclo tardio) da espécie *C. canephora*, com alto potencial produtivo em condições irrigadas, necessitando de investigações sobre o comportamento destas cultivares em outras regiões como no Cerrado Central.

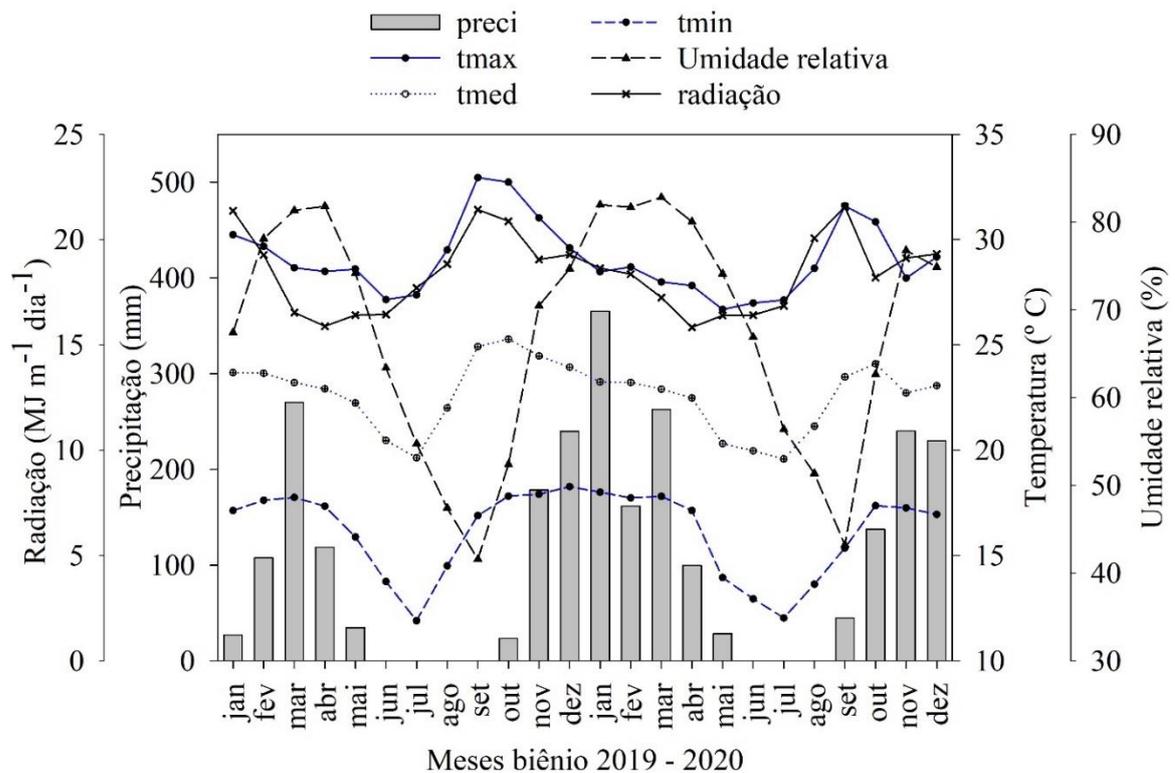
Portanto, objetivou-se identificar respostas adaptativas de clones das cultivares Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 nas condições de Cerrado Central, em sistema irrigado de produção, com um período de déficit hídrico controlado, por meio de características fisiológicas, anatômicas foliares, bioquímicas e produtividade de grãos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em área experimental, localizada na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, latitude: 15°35'30" S e longitude: 47°42'30" O. A altitude da área é de aproximadamente 1050 m, com relevo plano, Latossolo Vermelho Escuro (SANTOS *et al.*, 2018) e textura argilosa (42% argila, 30% areia fina). O clima dominante é o Aw, tropical quente e úmido, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com duas estações típicas, período chuvoso (outubro a abril) e período seco (maio a setembro). A temperatura e pluviosidade médias anuais são de 21,3 °C e 1.200 mm, respectivamente. Os dados de precipitação, temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa média do ar e radiação foram monitorados, por meio de uma estação meteorológica automática, localizada na Embrapa Cerrados (FIGURA 1).

Figura 1 - Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas, mensalmente, nos dois anos de avaliação (2019 e 2020) em Planaltina – DF.



Fonte: Da autora (2022).

O plantio dos clones foi realizado com mudas propagadas por estacas, em fevereiro de 2016. A adubação no plantio foi realizada com 300 kg P₂O₅ por hectare, no sulco, o nitrogênio e potássio foram aplicados em cobertura cerca de 40 dias após o plantio.

Para coberturas no primeiro ano após plantio e formação das plantas (2017) foram fornecidos 200 kg.ha⁻¹ P₂O₅, parcelados dois terços em setembro e um terço no mês de dezembro. Para o fornecimento de nitrogênio e potássio em cobertura, foram utilizados 200 kg/ha do nutriente, em forma de ureia e cloreto de potássio, parcelados em quatro vezes (a cada quarenta dias). No segundo ano após plantio (2018) e anos seguintes, foram fornecidos 300 kg.ha⁻¹ P₂O₅ parcelados dois terços em setembro e um terço no mês de dezembro e 400 kg/ha de nitrogênio e potássio, em forma de ureia e cloreto de potássio, parcelados em setembro, novembro, janeiro e março. Os micronutrientes foram fornecidos com 100 kg.ha⁻¹ do produto comercial FTE BR12, aplicados em cobertura em dezembro.

As parcelas foram compostas de uma linha com 20 plantas, com espaçamento de 3,5 metros entre linhas e 0,5 metro entre plantas, perfazendo uma população de 5.714 plantas por hectare. Dessa forma, pelo curto espaço entre plantas, os clones foram conduzidos com duas hastes verticais.

No experimento foi utilizado sistema de irrigação por pivô central, seguindo o critério de manejo da irrigação do balanço hídrico do solo, a partir do Sistema de Monitoramento de Irrigação no Cerrado (ROCHA *et al.*, 2006), fornecendo a lâmina líquida, intervalo e o momento de irrigação. No segundo ano após o plantio, foi utilizado o estresse hídrico, controlado por cerca de 64 dias, entre final de junho e início de setembro (GUERRA *et al.*, 2005).

O monitoramento de pragas e doenças ocorreu regularmente, conforme o calendário agrícola da cultura e, quando atingiam os níveis de controle, foi realizado o manejo fitossanitário, com produtos registrados para a cultura, seguindo as orientações dos fabricantes.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

O café Conilon se reproduz pelo efeito da alogamia, com 100% da fecundação cruzada, ocasionada pela autoincompatibilidade gametofítica, que inviabiliza a autofecundação ou o cruzamento entre plantas que apresentam a mesma constituição genética nos gametas reprodutivos. Além do efeito da alogamia, as duas cultivares de Conilon apresentam diferentes ciclos de maturação dos grãos, dessa forma, foram realizados dois ensaios, um contendo nove

clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 e nove clones e um contendo nove clones da cultivar Centenária Incaper 8132, todos de forma aleatorizada.

No campo, foram instalados dois experimentos, alocados com o delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições. Foram avaliados onze clones contrastantes, sendo cinco da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 e seis da cultivar Centenária Incaper ES8132 (TABELA 2).

Tabela 2 - Clones de *Coffea canephora* avaliados na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF.

Cultivar	Clones	Época de maturação
Jequitibá Incaper 8122	203	Julho
	204	
	207	
	208	
	209	
Centenária Incaper 8132	301	Agosto
	302	
	305	
	306	
	308	
	309	

Fonte: Da autora (2022).

2.3 Características avaliadas

As avaliações fisiológicas foram realizadas nos anos de 2019 e 2020, em três diferentes períodos, sendo eles: no final do período de suspensão da irrigação (FPSI), no final do mês de agosto, dois dias após o retorno da irrigação (2dARI), no início do mês de setembro, e três meses após o retorno da irrigação (3mARI), em dezembro. Já as análises anatômicas e bioquímicas foram realizadas nos anos de 2019 e 2020, em dois períodos, sendo eles: final do período de suspensão da irrigação (FPSI), no final do mês de agosto, e três meses após o retorno da irrigação (3mARI), no mês de dezembro.

No FPSI, momento da indução e maturação das gemas florais, buscou-se verificar as respostas dos clones no fim do período do estresse hídrico aplicado. Aos 2dARI a finalidade da avaliação foi observar as respostas dos clones logo após a reidratação. Já 3mARI, estágio da

granação dos frutos, o intuito foi analisar as respostas dos clones depois de três meses de hidratação das plantas.

A colheita foi concentrada no mês de julho na cultivar Jequitibá ES8122, e no mês de agosto na cultivar Centenária ES8132. Para a colheita foram amostradas quatro plantas centrais, sendo quantificado o volume total de café por parcela e medição do peso (kg) das amostras. Ao final, com esses dados foram obtidos o rendimento e, em seguida, calculada a produtividade em sacas por hectare (sc.ha^{-1}). Foram utilizados os anos de safra alta de 2018 e 2020.

2.3.1 Características fisiológicas

Para a realização das análises fisiológicas foram selecionadas folhas completamente expandidas, do terceiro ou quarto par de folhas do ramo plagiotrópico, no terço médio das plantas.

As variáveis fisiológicas avaliadas foram: trocas gasosas, índice de clorofila a, b e total, potencial hídrico e conteúdo relativo de água.

Para avaliação das trocas gasosas foi utilizado um sistema portátil de análise de gases por infravermelho (LI-6400XT Portable Photosynthesis System, LI-COR, Lincoln, USA), sob luz artificial ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), onde foi quantificada a taxa fotossintética líquida ($A - \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ao vapor de água ($g_s - \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa transpiratória ($E - \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), relação entre a concentração intercelular de CO_2 no mesófilo e a concentração de CO_2 externa atual (C_i/C_a), a concentração interna de carbono (C_i), sendo realizadas no período da manhã entre 9 e 11 horas. Posteriormente, foi calculada a eficiência instantânea do uso da água ($WUE - A/E$) (SANTOS *et al.*, 2017).

A determinação indireta dos teores relativos das clorofilas a, b e total foram obtidos, por meio do medidor portátil de clorofila ClorofiLOG (Falker Automação Agrícola, Brasil), que fornece valores denominados índices de clorofila Falker (ICF) proporcionais à absorvância das clorofilas (BARBIERI JUNIOR *et al.*, 2012).

O potencial hídrico foliar (ψ_w) foi mensurado no período antemanhã (1:00h às 5:00h), com uma bomba de pressão tipo Scholander (PMS Instruments Plant Moisture - Modelo 1000).

O conteúdo relativo de água (CRA) corresponde à quantidade de água medida de um tecido em um dado instante, comparada com a máxima quantidade de água que ele poderá reter. Determinou-se o CRA a partir de discos foliares de 1 cm de diâmetro, obtidos de folhas coletadas às 8h da manhã e levadas imediatamente para o laboratório. Foram retirados 10 discos

foliares e, posteriormente, pesados. Em seguida, os discos foram imersos em placas de Petri com água destilada por 24 horas, em temperatura ambiente, para atingir máxima embebição. Logo após este período, os discos foram pesados novamente para a determinação do peso túrgido e colocados em estufa a 60 °C para a determinação do peso seco (BARRS; WHEATERLEY, 1962). A partir do peso da matéria fresca (PF), peso túrgido (PT) e peso seco (PS), foi calculado o conteúdo relativo de água dos discos, de acordo com a fórmula.

$$\text{CRA} = \{[(\text{PF} - \text{PS}) / (\text{PT} - \text{PS})] \times 100\} \% \quad (1)$$

2.3.2 Características anatômicas

Para a realização das análises anatômicas foram selecionadas folhas completamente expandidas, do terceiro ou quarto par de folhas do ramo plagiotrópico, no terço médio das plantas. As folhas coletadas com 3mARI foram formadas após o período de suspensão hídrica.

As análises das características anatômicas das secções paradérmicas foram realizadas no laboratório de fisiologia vegetal da Embrapa Cerrados. Foram obtidas em folhas frescas usando a técnica de impressão da epiderme da face abaxial, na região mediana foliar (SEGATTO *et al.*, 2004), onde uma gota de adesivo instantâneo universal (éster de cianoacrilato) foi aplicada sobre uma lâmina de vidro de microscopia, e em seguida, a parte central da folha foi fixada nesse ponto, permitindo assim, a separação da epiderme da mesma.

Nas secções paradérmicas foram avaliados: número de estômatos (ne), que foi utilizado para calcular a densidade estomática ($den = ne/mm^2$) e, diâmetro polar ($dp - \mu m$) e diâmetro equatorial dos estômatos ($de - \mu m$) utilizados para a relação entre o diâmetro polar e o diâmetro equatorial (DPDE) que é altamente correlacionada com funcionalidade estomática (SOUZA *et al.*, 2010).

Para as análises de características anatômicas das secções transversais, as folhas foram fixadas em etanol 70% ($v v^{-1}$) (JOHANSEN, 1940) por aproximadamente 72 horas e, posteriormente, após a troca da solução utilizada na conservação das folhas, foram conservadas novamente no mesmo reagente etanol 70% ($v v^{-1}$), a fim de conservar o material até a data da análise.

As análises das secções transversais foram realizadas no laboratório de anatomia de fisiologia vegetal, no setor de cafeicultura da universidade Federal de Lavras. Para análise das secções transversais, adicionou-se concentrações crescentes de etanol (70%, 80%, 90% e

100%) ao material vegetal, em intervalos de 2 horas. As amostras foram incorporadas em historesina de acordo com as instruções do fabricante (Leica Microsystems, Wetzlar, Alemanha), obtendo-se secções (8 μm de espessura) com o auxílio de um micrótomo rotativo semiautomático modelo MRP 2015 da marca Lupetec Tecnologia Aplicada (Lupe Indústria Tecnológica de Equipamentos para Laboratório, Brasil). As seções foram coradas com azul de toluidina a 1% (m v^{-1}) e montadas com verniz vitral (PAIVA *et al.*, 2006). As lâminas obtidas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Red 200, marca Kasvi/Motic, acoplado à câmera digital modelo D-Moticam 5MP marca Motic. Posteriormente, as imagens foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool.

As variáveis obtidas na avaliação das secções transversais foram: área total da região do xilema (AX - μm^2); área total da região do floema (AF - μm^2); número de vasos do xilema (NVX); diâmetro de vasos do xilema (DV- μm); frequência dos vasos do xilema (FVX - $\text{nvx}/\text{ax} \cdot 1000000 - \text{mm}^2$); índice de vulnerabilidade (IVX), calculado conforme proposto por Carlquist (1988) (razão DV e FVX). A condutividade hidráulica relativa (CHR) foi estimada usando equação de Hagen - Poiseuille modificada (FAHN *et al.*, 1986): $\text{chr} = r^4 \cdot \text{fvx} - \mu^4 \text{m} 10^6$, onde r é o raio individual dos vasos xilemáticos (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

2.3.3 Atividade de enzimas do metabolismo antioxidante

Para as análises bioquímicas, as folhas foram coletadas no período da tarde, entre 12 e 13h e mergulhadas imediatamente em nitrogênio líquido e posteriormente armazenadas em ultra freezer a $-80\text{ }^\circ\text{C}$ até o momento da avaliação.

A determinação da atividade das enzimas do sistema antioxidante foi realizada utilizando como referência o protocolo de extração de Biemelt, Keltman e Albert (1998). Para obtenção do extrato macerou-se 100 mg do tecido foliar em N_2 líquido e 50% de polivinilpolipirrolidona (PVPP), posteriormente foi homogeneizado com 3,5 mL do seguinte tampão de extração: fosfato de potássio 100 mM, pH 7,8; EDTA 0,1 mM e ácido ascórbico 10 mM. Em seguida, o extrato foi centrifugado a 13.000 g por 10 min, a $4\text{ }^\circ\text{C}$. Os sobrenadantes foram coletados e utilizados nas análises da dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT) e peroxidase do ascorbato (APX).

A atividade da SOD foi obtida por meio da inibição da fotorredução do azul de nitrotetrazólio (NBT) pela enzima, proposta por Giannopolitis e Ries (1977) com modificações. Diferentes alíquotas foram adicionadas ao meio de incubação composto por fosfato de potássio

50mM, pH 7,8, metionina 14mM, EDTA 0,1 μ M, NBT 75 μ M, riboflavina 2 μ M e água destilada. Em seguida, as microplacas foram iluminadas com lâmpada fluorescente de 20 W por sete minutos e foram feitas as leituras a 560 nm. Uma unidade da SOD corresponde à quantidade de enzima necessária para inibir em 50% a fotorredução do NBT nas condições do ensaio.

A CAT foi determinada seguindo o protocolo de Mengutay *et al.* (2013) com modificações, em que diferentes alíquotas do sobrenadante foram adicionadas ao meio de incubação contendo: tampão fosfato 45mM e pH 7,6; Na₂EDTA 0,1mM (dissolvido no tampão) e peróxido de hidrogênio 10 mM. A enzima foi determinada pelo decréscimo na absorbância a 240 nm, a cada 15 segundos, por 3 minutos, monitorado pelo consumo de peróxido de hidrogênio. O coeficiente de extinção molar utilizado foi 36 mM⁻¹cm⁻¹.

Determinou-se a atividade da APX pelo acompanhamento da taxa de oxidação do ascorbato a 290 nm, a cada 15 segundos, por três minutos (NAKANO; ASADA, 1981), metodologia utilizada para a cultura do café, com modificações. Para isso, diferentes alíquotas do sobrenadante foram adicionadas ao meio de incubação contendo: tampão fosfato de potássio 50mM com pH 6,0; ácido ascórbico 0,8mM e peróxido de hidrogênio 1mM. O coeficiente de extinção molar utilizado foi 2,8 mM⁻¹cm⁻¹.

Para as análises da atividade das enzimas do sistema antioxidante foram utilizadas microplacas de microtitulação de 96 poços e as leituras foram realizadas em leitor de microplacas por multidetecção Synergy TM HTX.

2.3.4 Quantificação do Ascorbato

O ascorbato foi quantificado seguindo a metodologia proposta por Arakawa *et al.* (1981), utilizando 50 mg de matéria fresca macerados em N₂ líquido e 50% de polivinilpolipirrolidona (PVPP), homogeneizado com ácido tricloroacético (TCA 5%) (m/v) e centrifugado a 10.000g, por 15 minutos, a 4 °C. Uma alíquota do sobrenadante foi adicionada ao meio de reação contendo: TCA 5% (m/v); etanol 99,8% (v/v); ácido ascórbico; ácido fosfórico (H₃PO₄) 0,4% em etanol (v/v); batofenantrolina 0,5% em etanol (p/v) e cloreto de ferro (III) (FeCl₃) em etanol (m/v). Em seguida, o meio foi homogeneizado e incubado a 30°C, por 90 minutos. A concentração de ascorbato foi determinada por meio da absorbância das amostras a 534 nm e com base na curva-padrão com concentrações conhecidas.

2.3.5 Quantificação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e peroxidação lipídica

Para quantificação de peróxido de hidrogênio (H₂O₂), foi macerado 100mg do material vegetal em N₂ líquido e 50% de polivinilpolipirrolidona (PVPP) e homogeneizado em TCA 0,1% (m/v). Posteriormente, as amostras foram centrifugadas a 12000g por 15 minutos, a 4 °C. Foram adicionadas alíquotas do sobrenadante ao meio de reação composto por tampão fosfato de potássio 10 mM pH 7,0 e iodeto de potássio 1M, em microplacas de microtitulação de 96 poços. A concentração de H₂O₂ foi determinada pela absorbância das amostras a 390nm com base na curva-padrão de concentrações de H₂O₂ conhecidas (VELIKOVA; YORDANOV; EDREVA, 2000), com modificações.

A peroxidação lipídica foi quantificada com adição de alíquotas em microtubos do tipo *ependorf* ao meio de reação contendo 0,5% (m/v) de ácido tiobarbitúrico (TBA) e 10% (m/v) de TCA. Após, o meio foi incubado a 95 °C, por 30 minutos, paralisando a reação por resfriamento rápido em gelo e realizando as leituras em 535 nm e 600 nm em microplacas de microtitulação de 96 poços. O TBA forma complexos de cor avermelhada, como o malondialdeído (MDA), produto secundário do processo de peroxidação. A concentração do MDA foi calculada pela seguinte equação: $[MDA] = (A_{535} - A_{600}) / (\xi \times b)$, em que ξ (coeficiente de extinção molar = $1,56 \times 10^{-5}$); b (comprimento ótico = 1). A peroxidação é expressa em η mol de MDA.g⁻¹MF.

2.4 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, verificando a normalidade e homogeneidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e de Bartlett, respectivamente, por meio do programa R (R Core Team, 2021), por meio do pacote *Agricolae* (MENDIBURU, 2014).

Realizou-se a análise de variância com a significância das fontes de variação verificada pelo teste F para produtividade, ao nível de 5% de probabilidade, que por sua vez para o estudo das médias, utilizou-se o teste de agrupamento Skott-Knott, pelo programa R (R CORE TEAM, 2021), usando o pacote *agricolae* (MENDIBURU, 2014).

Posteriormente foi realizada a análise de componentes principais para caracterizar as relações entre os tratamentos (clones de cada cultivar) e as variáveis resposta estudadas, pelo programa R (R CORE TEAM, 2021), utilizando o pacote *FactoMineR*.

3 RESULTADOS

3.1 Cultivar Jequitibá Incaper ES8122

Em relação à produtividade dos grãos dos clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 verificou-se maiores valores (médias 2018/2020) no clone 207 (173,00 sc.ha⁻¹), menores valores nos clones 204 e 209 (87,91 e 89,66 sc.ha⁻¹ respectivamente), e os clones 203 e 208 (129,83 e 113,98 sc.ha⁻¹ respectivamente) tiveram produtividade intermediária (TABELA 3).

Tabela 3 - Produtividade dos clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122.

Clones	Sc.ha ⁻¹ (2018)	Sc.ha ⁻¹ (2020)	Sc.ha ⁻¹ (média)
203	137,49 a	122,16 b	129,83 b
204	102,65 b	73,16 c	87,91 c
207	137,78 a	208,22 a	173,00 a
208	114,29 b	113,68 b	113,98 b
209	69,30 c	110,01 b	89,66 c
Média*	112,30	125,45	118,88

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

Nas análises de componentes principais realizadas no FPSI em 2019, é possível observar a discriminação dos clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 quanto as características fisiológicas, anatômicas e bioquímicas (FIGURA 2 A e B).

Para as variáveis fisiológicas e anatômicas no FPSI no ano de 2019, os dois primeiros componentes principais explicaram 72,90% da variabilidade total dos dados (FIGURA 2 A). O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 45,50% da variabilidade total, e as variáveis de maior peso positivo foram A, WUE, c1A, c1B, c1T, DEN, DP/DE, CUT, LIM e FVX e de maior peso negativo foram E, NVX e IVX. O segundo vetor (componente principal dois – Dim 2) explicou 27,40% da variabilidade total dos dados, e a variável de maior peso positivo foi a AF, e com valor negativo foram MPa, EAD, EAB e CHR.

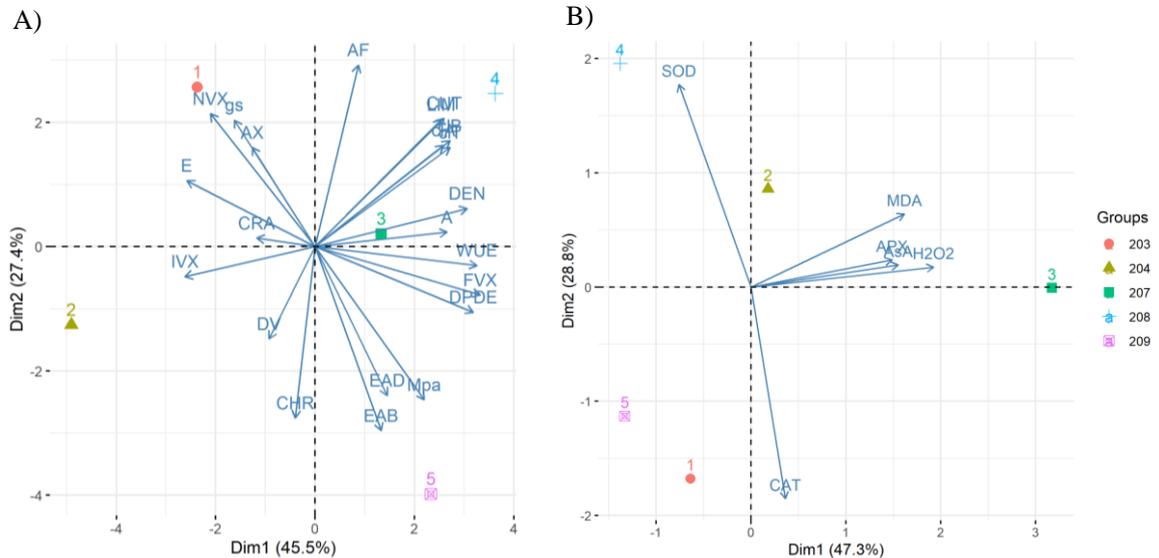
A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais no clone 203 com maior proximidade do NVX e distanciamento do MPa (o distanciamento do MPa significa maior potencial hídrico, pois os valores estão em módulo), o clone 209 se diferenciou por se aproximar do MPa (a proximidade do MPa significa menor potencial hídrico) e se aproximar das variáveis EAD e EAB. O clone 208 se diferenciou dos

demais pela maior proximidade da clA, clB, clT, LIM e AF. O clone 204 foi alocado próximo a E, e IVX.

Na análise de componentes principais realizada com as variáveis bioquímicas no FPSI-19 os clones avaliados apresentaram diferentes comportamentos. Os dois primeiros componentes principais explicaram 76,10% da variabilidade total dos dados (FIGURA 2 B). O primeiro vetor (componente principal um – Dim1) explicou 47,30% da variabilidade dos dados, e as variáveis de maior peso positivo foram peróxido de hidrogênio (H_2O_2), malondialdeído (MDA), ascorbato (AsA), peroxidase do ascorbato (APX). O segundo vetor (componente principal dois – Dim2) explicou 28,80% da variabilidade dos dados, e a variável com maior peso positivo foi a dismutase do superóxido (SOD), já a variável com maior peso negativo foi a catalase (CAT).

Observou-se dissimilaridade entre os clones pela dispersão gráfica dos componentes principais, no clone 207 com maior destaque nas variáveis H_2O_2 , MDA, AsA e APX. Os clones 203 e 209 se distanciaram dos demais e apresentaram maior destaque na variável CAT, e o clone 208 se alocou próximo a SOD.

Figura 2 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 no final do período de suspensão hídrica no ano de 2019 (FPSI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B).



Variáveis fisiológicas: taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas: densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

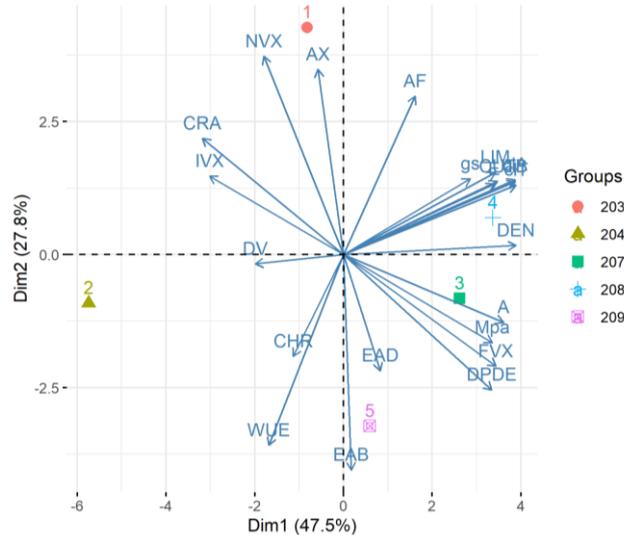
Fonte: Da autora (2022).

Para análise de componentes principais realizada 2dARI no ano 2019 com as variáveis fisiológicas e anatômicas (foram utilizados os valores do FPSI para as variáveis anatômicas), os dois primeiros componentes principais explicaram 75,30% da variabilidade total dos dados (FIGURA 3). O primeiro vetor (componente principal um - Dim1) explicou 47,50% da variabilidade dos dados, e as variáveis de maior peso positivo foram A, E, gs, WUE, CRA, cIA, cIB, cIT, Mpa, DEN, DP/DE, CUT, EAD, LIM, EAB, NVX, AF, AX, FVX, já as variáveis com maior peso negativo foram CRA e IVX. O segundo vetor (componente principal dois - Dim2) explicou 27,80% da variabilidade dos dados, e as variáveis de maior peso positivo foram NVX, AX e AF, já as variáveis com maior peso negativo foram WUE e EAB.

A dissimilaridade entre os clones foi verificada pela dispersão gráfica dos componentes principais no clone 203 com maior destaque nas variáveis AX e NVX. O clone 208 se alocou próximo as variáveis cIA, cIB, cIT, LIM e DEN. O clone 207 se distanciou dos demais pela

maior proximidade da variável A e maior distanciamento do CRA. O clone 204 se alocou em posição contrária as variáveis E, cIA, cIB, cIT, LIM e DEN. O clone 209 se aproximou da EAB e em posição contrária as variáveis AX e AF.

Figura 3 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 dois dias após o retorno da irrigação no ano de 2019 (2dARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.



Variáveis fisiológicas: taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas: densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR).

Fonte: Da autora (2022).

Para análise de componentes principais realizada 3mARI no ano 2019 com as variáveis fisiológicas e anatômicas, os dois primeiros componentes principais explicaram 71,70% da variabilidade total dos dados (FIGURA 4 A). O componente principal um (Dim1) explicou 43,90% da variabilidade dos dados, e as variáveis que se destacaram com maior peso positivo foram WUE, CRA, cIA, cIB, cIT, DEN, CUT, LIM e AF, já as que se destacaram negativamente foram DV e CHR. A componente dois (Dim2) explicou 27,80% da variabilidade dos dados, as variáveis com maior peso positivo foram A, DP/DE, EAB e FVX, e as variáveis com maior peso negativo foram NVX e IVX.

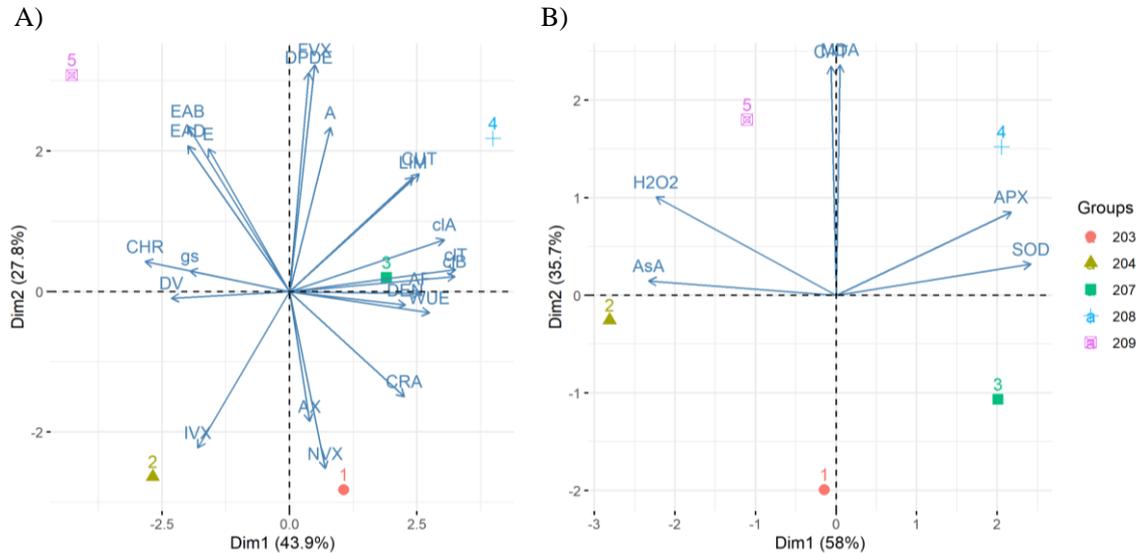
Verificou-se dissimilaridade entre os clones na dispersão gráfica dos componentes principais com distanciamento do clone 208, e destaque desse clone nas variáveis CUT, LIM,

clA, clB e clT. O clone 203 se aproximou das variáveis NVX e AX, já o clone 204 teve maior proximidade do IVX. O clone 209 se distanciou dos demais pela maior proximidade das variáveis EAD, EAB e transpiração, e distanciamento do CRA.

Para análise de componentes principais realizada 3mARI no ano 2019 com as características bioquímicas, os dois primeiros componentes principais explicaram 93,70% da variabilidade total dos dados (FIGURA 4 B). A componente principal um (Dim1) explicou 58% da variabilidade dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram SOD e APX e com maior peso negativo H_2O_2 e AsA. O segundo vetor (Dim2) explicou 35,70% da variabilidade dos dados, e as variáveis que se destacaram positivamente foram o MDA e a CAT.

Na dissimilaridade entre os clones, observou-se distanciamento do clone 208 com maior destaque nas variáveis APX e SOD, e do clone 204 mais próximo do AsA. O clone 203 se alocou em posição contrária ao MDA, já o clone 209 se aproximou do MDA e da CAT. O clone 207 se alocou em posição contrária as variáveis H_2O_2 , AsA e CAT.

Figura 4 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper três meses após o retorno da irrigação em (3mARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B).



Variáveis fisiológicas: taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas: densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

Fonte: Da autora (2022).

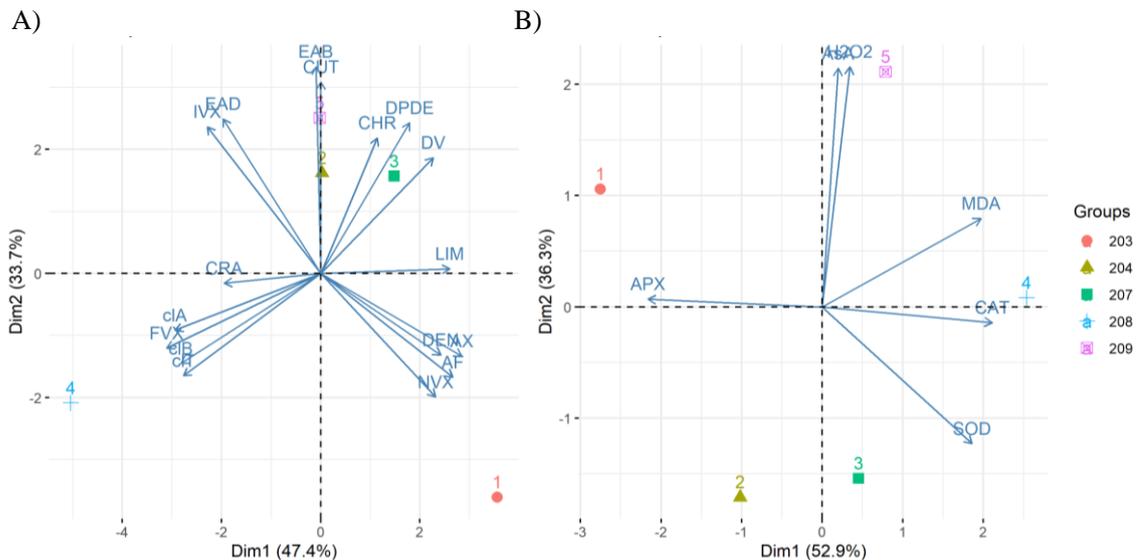
Para análise de componentes principais com as variáveis fisiológicas e anatômicas no FPSI no ano de 2020, as duas primeiras componentes principais explicaram 81,10% da variabilidade total dos dados (FIGURA 5 A). O componente principal um (Dim1) explicou 47,40% da variabilidade dos dados, e as variáveis com maior peso positivo foram DEN, LIM, NVX, AF, AX, DV e com maior peso negativo foram cIA, cIB cIT e FVX. Já a componente dois (Dim2) explicou 33,70% da variabilidade dos dados, sendo as variáveis DP/DE, CUT, EAD, EAB, IVX com maior peso positivo.

A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais, no clone 203 com destaque nas variáveis NVX, DEN, AX e AF. Observou-se distanciamento do clone 208 com destaque nas variáveis cIA, cIB e cIT e FVX. Os clones 204 e 209 foram similares com proximidade das variáveis EAB e CUT, já o clone 207 teve destaque nas variáveis DV, CHR e DP/DE.

Para análise de componentes principais com as variáveis bioquímicas no FPSI no ano de 2020, as duas primeiras componentes principais explicaram 89,20% da variabilidade total dos dados (FIGURA 5 B). A componente principal um (Dim1) explicou 52,90% da variabilidade dos dados, e as variáveis com maior peso positivo foram MDA, CAT e SOD, já a variável com maior peso negativo foi a APX. O segundo vetor (Dim2) explicou 36,30% da variabilidade total dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram H_2O_2 e AsA.

A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais, sendo verificado no clone 208, destaque nas variáveis CAT, SOD e MDA, já o clone 203 teve maior proximidade da variável APX. O clone 209 teve maior proximidade do segundo vetor com destaque nas variáveis H_2O_2 e AsA. Os clones 207 e 204 se alocaram em posição contrária ao H_2O_2 e AsA.

Figura 5 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 no final do período de suspensão hídrica no ano de 2020 (FPSI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B).



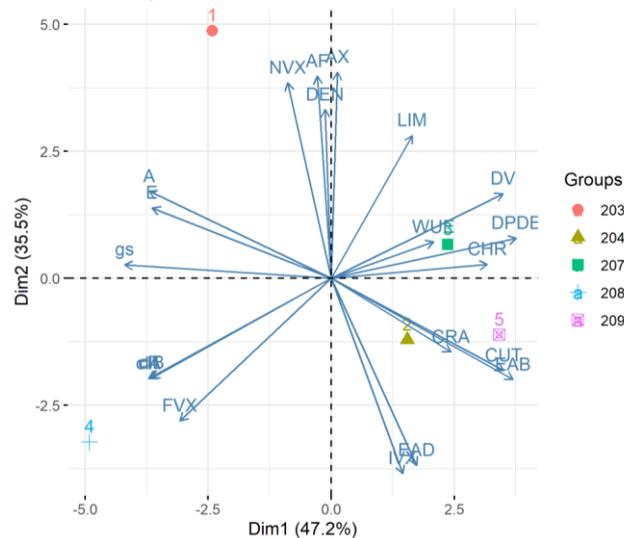
Variáveis fisiológicas: conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas: densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - $\text{U SOD mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol } H_2O \text{ min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

Fonte: Da autora (2022).

Em relação a análise de componentes principais realizada com as variáveis fisiológicas e anatômicas (foram utilizados os valores do FPSI para as variáveis anatômicas) 2dARI em 2020, as duas primeiras componentes principais explicaram 82,70% da variabilidade total dos dados (FIGURA 6). O vetor um (Dim1) explicou 47,20% e as variáveis com maior peso positivo foram DP/DE, CUT, EAB, DV e CHR, já as variáveis que se destacaram negativamente foram cIA, ClB, cIT, A, E, gs e FVX. A segunda componente (Dim2) explicou 35,50% da variabilidade dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram DEN, LIM, NVX, AX e AF, já as variáveis EAD e IVX tiveram maior peso negativo.

A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais, sendo verificado distanciamento do clone 208 e destaque nas variáveis cIA, ClB e cIT e FVX. O clone 203 se aproximou do NVX, AX, AF e DEN. O 207 teve destaque nas variáveis CHR e DP/DE, já o clone 209 se aproximou do CRA, CUT e EAB.

Figura 6 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 dois dias após o retorno da irrigação no ano de 2020 (2dARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.



Variáveis fisiológicas: taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas: densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR).

Fonte: Da autora (2022).

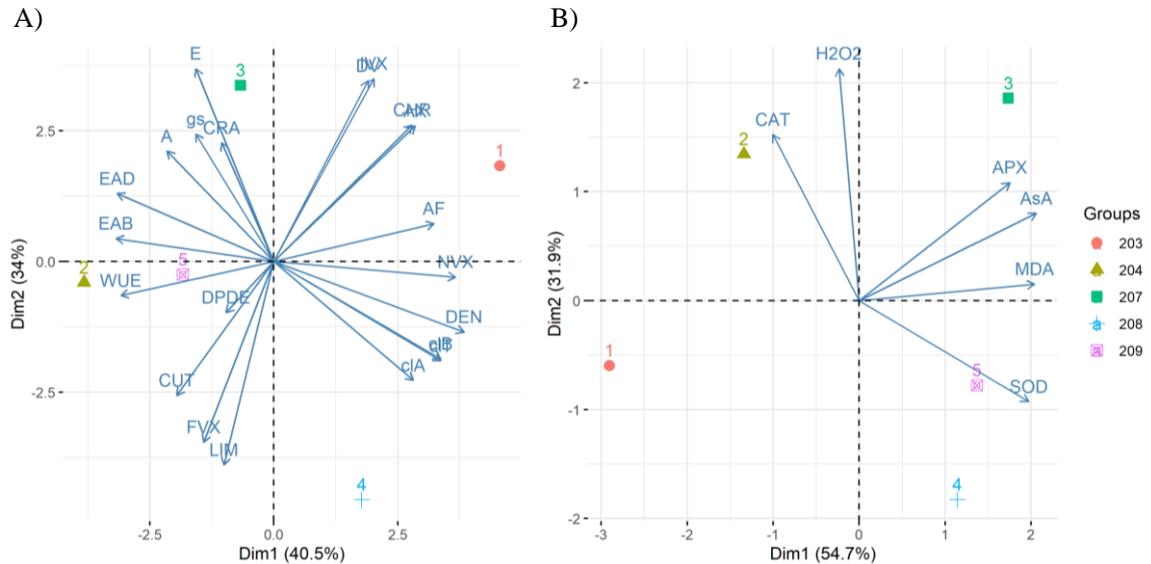
Para análise de componentes principais com as variáveis fisiológicas e anatômicas 3mARI em 2020, as duas primeiras componentes principais explicaram 74,50% da variabilidade total dos dados (FIGURA 7 A). O primeiro vetor (Dim1) explicou 40,50% da variabilidade total dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram clA, clB e clT, DEN, NVX, AX, AF e CHR, já as variáveis com maior peso negativo foram WUE, EAD e EAB. O segundo vetor (Dim2) explicou 34% da variabilidade dos dados sendo as variáveis E, DV e IVX as que tiveram maior peso positivo, e as variáveis LIM e FVX as que tiveram maior peso negativo.

Na dissimilaridade entre os clones verificou-se distanciamento do clone 203 com destaque nas variáveis CHR, AX, NVX e AF. O clone 208 teve maior proximidade da clA, clB, clT e LIM. O clone 207 se destacou nas variáveis A, E e gs, já o clone 204 teve maior proximidade da WUE.

Para análise de componentes principais com as variáveis bioquímicas 3mARI em 2020, as duas primeiras componentes principais explicaram 86,60% da variabilidade total dos dados (FIGURA 7 B). O primeiro vetor (Dim1) explicou 54,70% da variabilidade total dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram APX, AsA, MDA e SOD. O segundo vetor (Dim2) explicou 31,90% da variabilidade dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram CAT e H₂O₂.

Na dissimilaridade entre os clones observou-se distanciamento do clone 207 com proximidade das variáveis APX e AsA. O clone 204 teve destaque em relação a CAT, já o clone 203 se alocou na posição contrária as variáveis APX, AsA e MDA. O clone 208 se distanciou do H₂O₂. O clone 208 e 209 tiveram maior proximidade da SOD.

Figura 7 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 três meses após o retorno da irrigação no ano de 2020 (3mARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).



Variáveis fisiológicas (A): taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

Fonte: Da autora (2022).

3.2 Cultivar Centenária Incaper ES8132

Para a produtividade da cultivar Centenária Incaper ES8132, o clone 302 teve maiores valores na média 2018/2020 ($142,53 \text{ sc.ha}^{-1}$), e os clones 305, 308 e 309 apresentaram menores valores ($95,23$, $102,23$ e $93,63 \text{ sc.ha}^{-1}$ respectivamente). Já os clones 301 e 306 tiveram produtividade intermediária ($114,91$ e $118,17 \text{ sc.ha}^{-1}$ respectivamente) (TABELA 4).

Tabela 4 - Produtividade dos clones da cultivar Centenária Incaper ES8132

Clones	Sc.ha ⁻¹ 2018	Sc.ha ⁻¹ 2020	Sc.ha ⁻¹ (média)
301	122,90 b	106,92 a	114,91 b
302	156,74 a	128,32 a	142,53 a
305	106,60 b	83,86 b	95,23 c
306	115,85 b	120,48 a	118,17 b
308	91,46 b	113,00 a	102,23 c
309	90,28 b	96,97 b	93,63 c
Média	113,97	108,25	111,12

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na vertical constituem grupo estatisticamente homogêneo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022).

De acordo com os resultados obtidos nas análises de componentes principais, verificou-se discriminação entre os clones da cultivar Centenária Incaper 8132 em diferentes períodos de avaliação dentro de cada ano de desenvolvimento e produção.

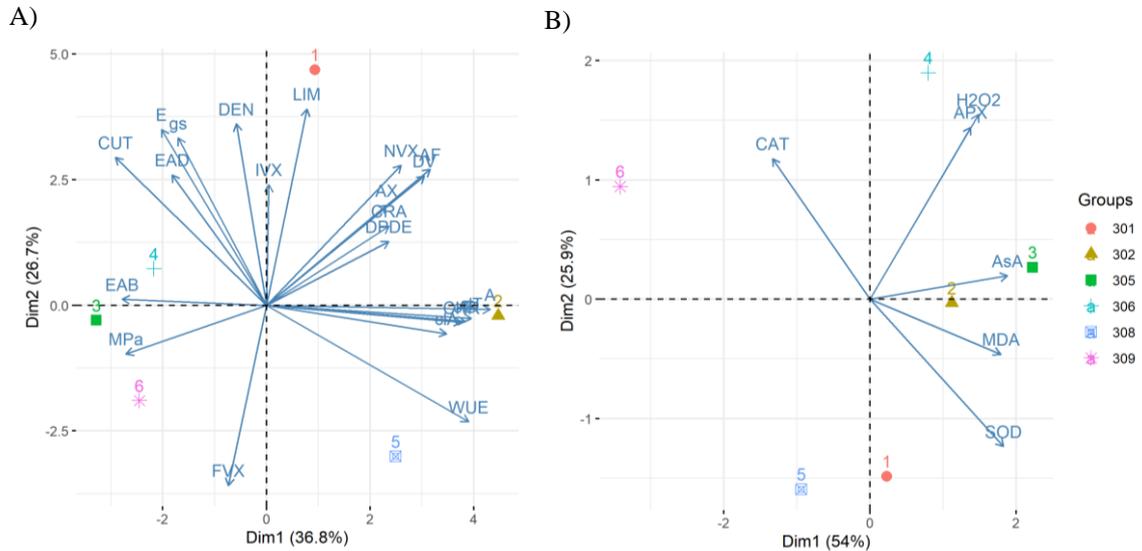
Na análise realizada no FPSI no ano de 2019 com as variáveis fisiológicas e anatômicas, as duas primeiras componentes principais explicaram 63,50% da variabilidade total dos dados (FIGURA 8 A). O primeiro vetor (Componente principal um – Dim1) explicou 36,80% da variabilidade dos dados e as variáveis que tiveram maior peso positivo foram A, WUE, cIA, cIB, cIT, AF, DV e CHR. O segundo vetor (Componente principal dois – Dim2) explicou 26,70% da variabilidade dos dados e as variáveis que se destacaram positivamente foram E, gs, DEN e LIM, já a variável DV teve maior peso negativo.

A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais. No clone 301 verificou-se maior proximidade das variáveis LIM e DEN, já o clone 302 teve maior proximidade das variáveis A, WUE, cIA, cIB, cIT e CHR. O clone 308 se destacou em relação a variável WUE. Os clones 305, 306 e 309 se aproximaram por se alocar próximos ao MPa (a proximidade do Mpa significa menor potencial hídrico, pois os valores estão em módulo), e o clone 305 também se aproximou da EAB.

Na análise com as variáveis bioquímicas (FPSI-19), as duas primeiras componentes principais explicaram 79,90% da variabilidade total dos dados (FIGURA 8 B). A componente principal 1 (Dim1) explicou 54% da variabilidade dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram H₂O₂, MDA, SOD e AsA, a variável com maior peso negativo foi a CAT.

Na dissimilaridade entre os clones verificou-se distanciamento do clone 306 com destaque nas variáveis H₂O₂ e APX, já o clone 308 se alocou em posição contrária ao H₂O₂ e APX. O clone 305 se aproximou do AsA, já o clone 302 se aproximou da variável MDA.

Figura 8 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 no final do período de suspensão hídrica em 2019 (FPSI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e variáveis bioquímicas (B).



Variáveis fisiológicas (A): taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - $\text{U SOD mg}^{-1} \text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

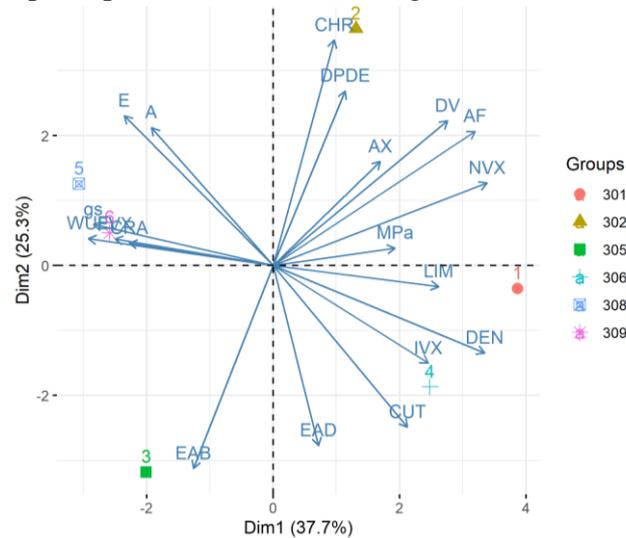
Fonte: Da autora (2022).

Para análise de componentes principais com as variáveis fisiológicas e anatômicas (foram utilizados os valores do FPSI para as variáveis anatômicas) 2dARI em 2019, as duas primeiras componentes principais explicaram 63% da variabilidade total dos dados (FIGURA 9). O primeiro vetor (Dim1) explicou 37,70% da variabilidade total dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram DEN, LIM, NVX, AF e DV, já as variáveis fisiológicas WUE e gs tiveram maior peso negativo. O segundo vetor (Dim2) explicou 25,30% da variabilidade dos dados e as variáveis que tiveram maior peso positivo foram DP/DE e CHR, já a variável EAD teve maior peso negativo.

Na dissimilaridade entre os clones foi observado distanciamento do clone 301 com destaque no LIM. O clone 302 se destacou em relação a CHR, já o clone 306 se aproximou das variáveis IVX, DEN e CUT. Os clones 308 e 309 se alocaram próximos das variáveis WUE e

FVX, o clone 308 também teve proximidade do CRA e gs. O clone 305 se destacou em relação a EAB.

Figura 9 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 dois dias após o retorno da irrigação em 2019 (2dARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.



Variáveis fisiológicas (A): taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (clA), clorofila B (clB) e clorofila total (clT). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR).

Fonte: Da autora (2022).

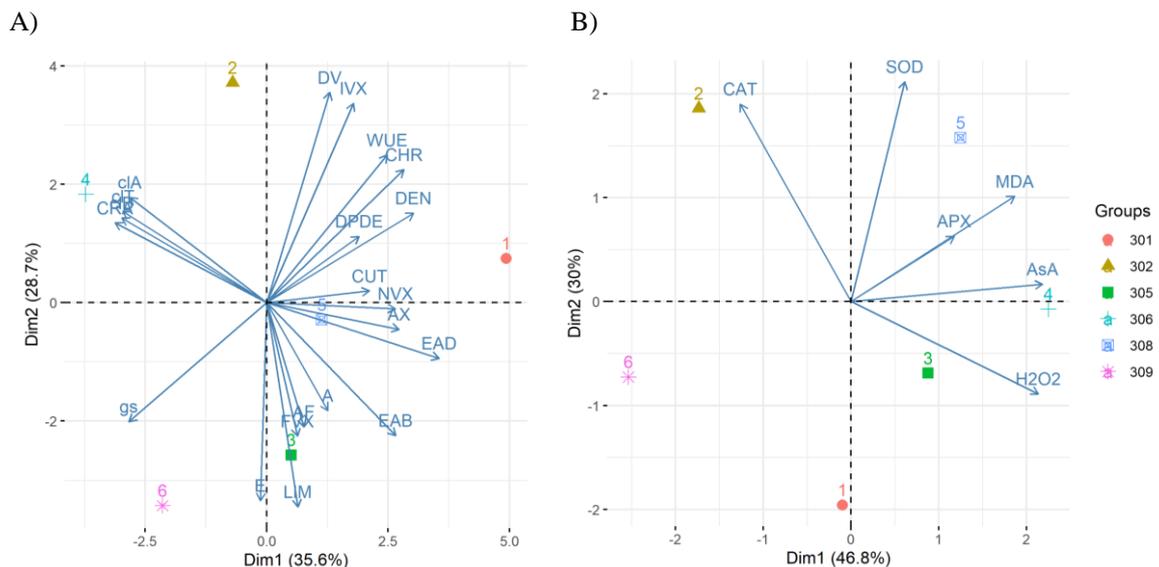
Na análise realizada 3mARI no ano de 2019 com as variáveis fisiológicas e anatômicas, as duas primeiras componentes principais explicaram 64,30% da variabilidade total dos dados (FIGURA 10 A). O primeiro vetor (Componente principal 1 – Dim1) explicou 35,60% da variabilidade dos dados e as variáveis que se destacaram com maior peso positivo foram as variáveis anatômicas DEN, EAD, LIM, EAB, NVX, AX e CHR, e as variáveis fisiológicas gs, CRA, clA, clB e clT tiveram maior peso negativo. O segundo vetor (Componente principal 2 – Dim2) explicou 28,70% e as variáveis com maior peso positivo foram DV e IVX, já as variáveis com maior peso negativo foram E e LIM.

Na dissimilaridade entre os clones verificou-se distanciamento do clone 301 com destaque nas variáveis DEN, NVX, AX e EAD. O clone 306 se destacou em relação ao CRA, clA, clB e clT. O clone 305 teve proximidade do LIM e E, já o clone 302 se alocou em posição contrária as variáveis LIM e E.

Na análise com as variáveis bioquímicas, as duas primeiras componentes principais explicaram 76,80% da variabilidade total dos dados (FIGURA 10 B). O primeiro vetor (Componente principal 1 – Dim1) explicou 46,80% da variabilidade dos dados e verificou-se maior peso positivo nas variáveis MDA, H₂O₂ e AsA. O segundo vetor (componente principal 2 – Dim2) explicou 30% da variabilidade dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram SOD e CAT.

Verificou-se dissimilaridade entre os clones com distanciamento do clone 306 com destaque na variável AsA. O clone 302 teve maior proximidade da CAT, já o clone 301 se distanciou da CAT. O clone 308 teve destaque nas variáveis SOD e MDA.

Figura 10 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 três meses após o retorno da irrigação no ano de 2019 (3mARI-19), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).



Variáveis fisiológicas (A): taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIA), clorofila B (cIB) e clorofila total (cIT). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H₂O₂ - μmol H₂O₂ mg⁻¹MF), malondialdeído (MDA - μmol MDA mg⁻¹MF), atividade da dismutase do superóxido (SOD - U SOD mg⁻¹ MF), atividade da catalase (CAT - μmol H₂O min⁻¹mg⁻¹MF), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - μmol AsA min⁻¹mg⁻¹MF) e níveis de ascorbato (AsA - μmol AsA mg⁻¹MF).

Fonte: Da autora (2022).

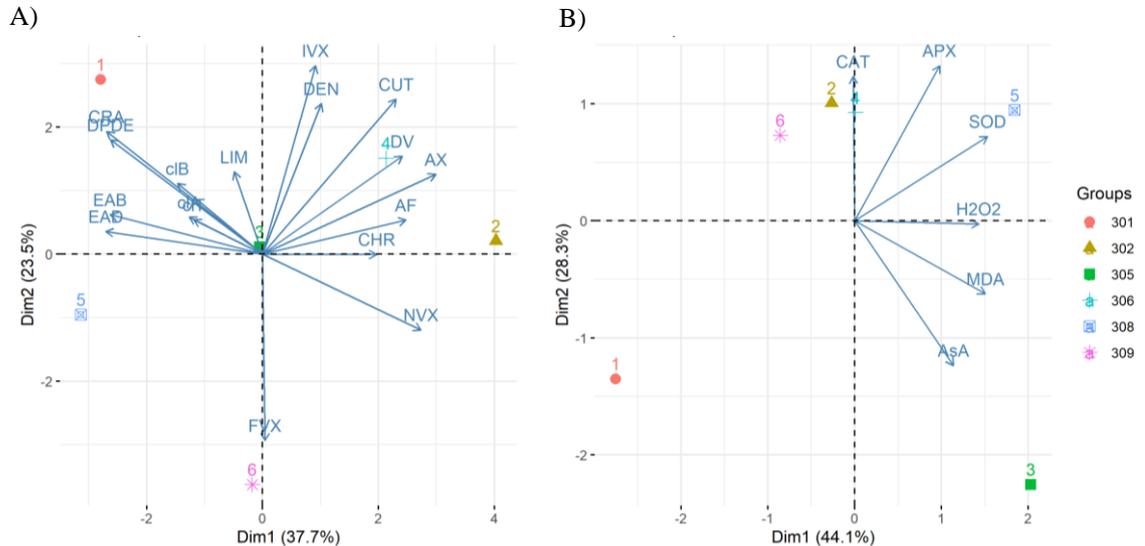
Na análise realizada no FPSI no ano de 2020 com as variáveis fisiológicas e anatômicas, as duas primeiras componentes principais explicaram 61,20% da variabilidade total dos dados (FIGURA 11 A). O primeiro vetor (componente principal 1 – Dim1) explicou 37,70% da variabilidade total dos dados e as variáveis NVX, AF, AX e DV tiveram maior peso positivo, já as variáveis CRA, DP/DE, EAD e EAB tiveram maior peso negativo. O segundo vetor (componente principal 2 – Dim2) explicou 23,50% da variabilidade total dos dados e as variáveis que se destacaram positivamente foram DEN, CUT e IVX, e a variável FVX teve maior peso negativo.

Na dissimilaridade entre os clones verificou-se distanciamento do clone 301 com destaque nas variáveis DP/DE e CRA. O clone 302 teve maior proximidade do CHR. O clone 309 se destacou em relação a FVX, e o clone 306 se aproximou da AX e DV.

Para análise de componentes principais realizada no FPSI no ano de 2020 com as variáveis bioquímicas, as duas primeiras componentes principais explicaram 72,40% da variabilidade total dos dados (FIGURA 11 B). A componente 1 (Dim1) explicou 44,10% da variabilidade total dos dados e as variáveis que apresentaram maior peso positivo foram H₂O₂, MDA e SOD. A componente 2 (Dim2) explicou 28,30% da variabilidade dos dados e as variáveis CAT, APX e AsA tiveram maior peso positivo.

A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais no clone 305 com proximidade da variável AsA. O clone 301 se distanciou dos demais clones e se alocou em posição contrária as variáveis APX e SOD. O clone 308 se distanciou dos demais e se destacou na variável SOD. Os clones 308 e 306 tiveram maior proximidade da variável APX. Verificou-se maior proximidade dos clones 302 e 308 da variável CAT. O clone 309 se alocou em posição contrária ao MDA e H₂O₂.

Figura 11 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 no final do período de suspensão hídrica em 2020 (FPSI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).



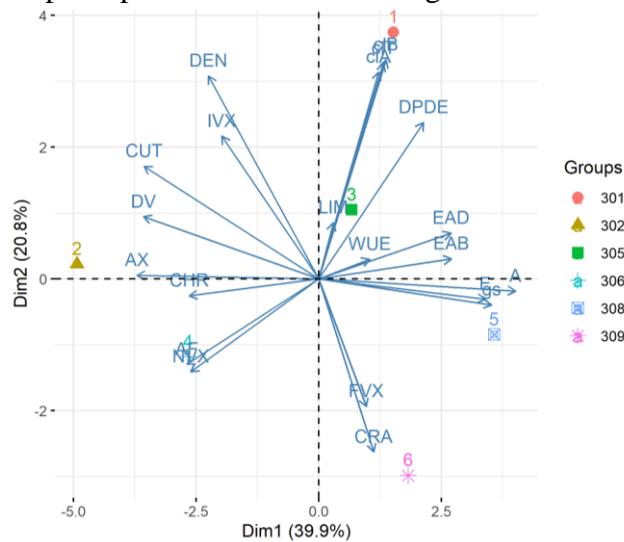
Variáveis fisiológicas (A): conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (clA), clorofila B (clB) e clorofila total (clT). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio ($\text{H}_2\text{O}_2 - \mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - $\text{U SOD mg}^{-1} \text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

Fonte: Da autora (2022).

Para análise de componentes principais com as variáveis fisiológicas e anatômicas (foram utilizados os valores do FPSI para as variáveis anatômicas) 2dARI em 2020, as duas primeiras componentes principais explicaram 60,7% da variabilidade total dos dados (FIGURA 12). O primeiro vetor (Dim1) explicou 39,90% da variabilidade total dos dados, as variáveis que tiveram maior peso positivo foram as variáveis fisiológicas A, E, gs, e as variáveis que tiveram maior peso negativo foram CUT, NVX, AF, AX, DV e CHR. O segundo vetor (Dim2) explicou 20,80% da variabilidade total dos dados, as variáveis clA, clB, clT e DEN tiveram maior peso positivo, já o CRA teve maior peso negativo.

Na diferenciação entre os clones foi observado distanciamento do clone 308 com destaque nas variáveis A, E e gs. O clone 302 se distanciou dos demais por apresentar maior proximidade das variáveis DV, CUT e CHR. O clone 301 se aproximou da clA, clB e clT, já o clone 306 se aproximou da AX e AF. O clone 309 teve maior proximidade do CRA e FVX.

Figura 12 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 dois dias após o retorno da irrigação em 2020 (2dARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas.



Variáveis fisiológicas (A): taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (cIa), clorofila B (cIb) e clorofila total (cIt). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR).

Fonte: Da autora (2022).

Para a análise de componentes principais realizada 3mARI em 2020 com as variáveis fisiológicas e anatômicas, os dois primeiros vetores explicaram 67,10% da variabilidade dos dados (FIGURA 13 A). O primeiro vetor (Dim1) explicou 48,40% da variabilidade total dos dados, as variáveis que se destacaram positivamente foram CRA, cIa, cIb, cIt, DP/DE, AX, DV, IVX e CHR, já as que se destacaram negativamente foram A, CUT, EAD e EAB. O segundo vetor (Dim2) explicou 18,70% da variabilidade dos dados, as variáveis que tiveram maior peso positivo foram E e gs, já a variável DEN teve maior peso negativo.

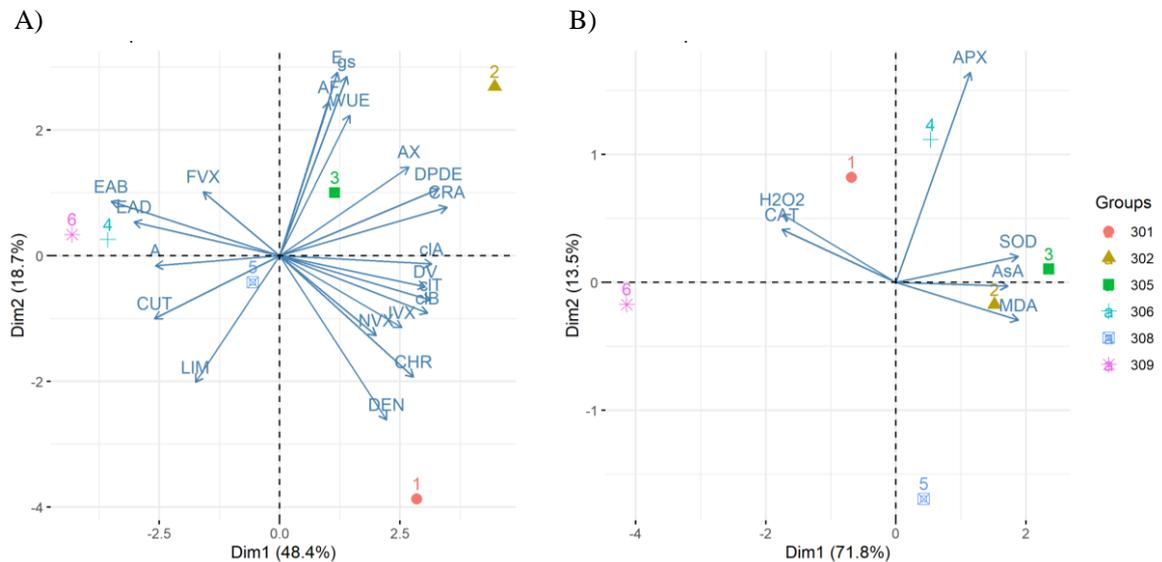
A dissimilaridade entre os clones foi observada pela dispersão gráfica dos componentes principais no clone 302 com proximidade das variáveis AX, CRA, WUE e gs. O clone 301 teve destaque nas variáveis DEN e CHR. Os clones 306 e 309 se aproximaram das variáveis EAD e EAB, e o clone 306 também se aproximou da A e CUT.

Na análise realizada 3mARI em 2020 com as variáveis bioquímicas, os dois primeiros componentes principais explicaram 85,30% da variabilidade total dos dados (FIGURA 13 B). O primeiro vetor (Dim1) explicou 71,80% da variabilidade dos dados e as variáveis com maior peso positivo foram, MDA, SOD, CAT e AsA, já as variáveis com maior peso negativo foram

H_2O_2 e CAT. O segundo vetor (Dim2) explicou 13,50% da variabilidade total dos dados, a variável que se destacou positivamente foi a APX.

Na diferenciação dos clones verificada na dispersão gráfica dos componentes principais o clone 305 teve maior proximidade da SOD e AsA. O clone 302 se destacou com proximidade do MDA. O clone 306 teve maior proximidade da APX, já o clone 309 se aproximou da CAT e H_2O_2 .

Figura 13 - Projeção de vetores e dispersão de clones da cultivar Centenária Incaper 8132 três meses após o retorno da irrigação em 2020 (3mARI-20), em relação aos dois primeiros componentes principais de variáveis fisiológicas e anatômicas (A) e bioquímicas (B).



Variáveis fisiológicas (A): taxa fotossintética líquida (A), taxa transpiratória (E), condutância estomática (gs), eficiência instantânea do uso da água (WUE), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila A (c1A), clorofila B (c1B) e clorofila total (c1T). Variáveis anatômicas (B): densidade estomática (DEN), funcionalidade estomática (DP/DE), espessura da cutícula da face adaxial (CUT), epiderme da face adaxial (EDA), limbo foliar (LIM) e epiderme da face abaxial (EAB), área do floema (AF), área do xilema (AX), número de vasos do xilema (NVX), frequência de vasos do xilema (FVX), diâmetro do vaso do xilema (DV), índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR). Variáveis bioquímicas: peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol } H_2O_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), atividade da dismutase do superóxido (SOD - U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), atividade da catalase (CAT - $\mu\text{mol } H_2O \text{ min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), níveis de peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{mol AsA min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$) e níveis de ascorbato (AsA - $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$).

Fonte: Da autora (2022).

4 DISCUSSÃO

As plantas respondem ao estresse por meio de diferentes estratégias, como modificação de características anatômicas, morfológicas, fisiológicas, bioquímicas, que podem variar de acordo com as condições ambientais (DaMATTA, 2003). A compreensão dos mecanismos utilizados pela planta é importante para auxiliar na seleção e melhoramento de plantas mais adaptadas (CHAVES *et al.*, 2003; HASAN *et al.*, 2018).

As condições climáticas no período de suspensão da irrigação, apresentando médias de temperaturas máximas de 28,51 °C e médias de temperaturas mínimas de 12,61 °C, ausência de precipitação pluviométrica, umidade relativa média em torno de 56,6% e alta incidência de radiação solar média em torno de 17,68 MJ m⁻² dia⁻¹ (FIGURA 1), pode ter relação com as variações nas respostas morfofisiológicas dos diferentes clones avaliados. As respostas ao estresse hídrico podem variar dentre espécies e genótipos de uma mesma espécie, tornando alguns mais adaptados a essa condição (CANALES *et al.*, 2021).

Modificações morfofisiológicas podem contribuir com o aumento da capacidade de recuperação do cafeeiro em períodos de déficit hídrico (MARTINS *et al.*, 2019). O presente estudo avaliou característica fisiológicas, bioquímicas e anatômicas foliares para identificar possíveis mecanismos de respostas em clones de duas cultivares de *Coffea canephora* submetidos ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado.

Condições ambientais adversas como variações na temperatura, radiação solar, disponibilidade de água e nutrientes no solo podem alterar a anatomia foliar, incluindo ao nível de dimensões, densidade e índice estomático, de maneira que permita um bom desenvolvimento da planta nessas condições (GRISI *et al.*, 2008; BALIZA *et al.*, 2012; MELO *et al.*, 2014; GAMA *et al.*, 2017).

Os clones das duas cultivares apresentaram diferenças estruturais nas folhas. Essas modificações podem contribuir com a diminuição da transpiração e sobrevivência da planta frente a modificações ambientais (HASANAGIC *et al.*, 2020).

Segundo Pillitteri e Dong (2013), condições ambientais podem causar modificações no tamanho e densidade dos estômatos, como forma de resposta a diferentes tipos de estresse. No FPSI-20 o clone 207 se aproximou da DP/DE, relacionado à funcionalidade estomática. Entre os clones da cultivar Centenária, o clone 301 teve maior proximidade da DP/DE no FPSI-20. Soares *et al.* (2022) observaram modificações na funcionalidade estomática em condições

adversas, como características de períodos chuvosos e secos, em cafeeiros (*Coffea arabica* L.) fertirrigados, após manejo de poda.

Dentre as características anatômicas, também foi avaliada a densidade estomática, que pode aumentar ou diminuir de acordo com a imposição de algum tipo de estresse, como a baixa disponibilidade hídrica. Dentre os clones da cultivar Jequitibá, o 208 e 203 se aproximaram da DEN no FPSI-19 e FPSI-20 respectivamente. O ajuste na densidade estomática, em resposta a diferentes estresses ambientais, afeta diretamente as trocas gasosas e a eficiência do uso da água (BERTOLINO; CAINE; GRAY, 2019).

Em relação aos clones da cultivar Centenária, o 301 se destacou em relação a densidade estomática em três períodos de avaliação, 3mARI-2019, FPSI-20 e 3mARI-20, e o clone 306 se aproximou dessa variável 2dARI-19. O aumento da densidade estomática pode favorecer a condutância estomática, visto que os estômatos são responsáveis pela captação de CO₂ para a realização da fotossíntese e transpiração (NOIA JÚNIOR *et al.*, 2018).

A cutícula mais espessada pode reduzir a perda de água excessiva devido a sua natureza lipídica, sendo considerado um mecanismo importante na tolerância à seca (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Plantas com cutículas mais espessas podem ser beneficiadas ao passar por um período de déficit hídrico (ONODA *et al.*, 2012; KANE *et al.*, 2020). No presente estudo, foi verificada semelhança entre os clones 209 e 204 com maior proximidade da variável CUT no FPSI-20, e entre os clones da cultivar Centenária, o clone 306 se destacou 2dARI-19.

Dentre as características avaliadas, a EAD e EAB também influenciaram na diferenciação dos clones, destacando-se o clone 209 com proximidade da variável EAD em 2019, e proximidade da EAB em todos os períodos de avaliação. No entanto, segundo Batista *et al.* (2010) e Grisi *et al.* (2008), a cutícula pode ser um parâmetro mais importante do que a espessura da epiderme nas cultivares em relação à redução da transpiração.

A maior espessura do limbo foliar é considerada uma adaptação das plantas em ambientes com baixa disponibilidade hídrica, altas temperaturas e radiação (BALIZA *et al.*, 2012; RIBEIRO *et al.*, 2012). Nas análises com os clones da cultivar Jequitibá, notou-se que o clone 208 se alocou próximo ao LIM em três épocas de avaliação, FPSI-19, 3mARI-19 e 3mARI-20. Dentre os clones da cultivar Centenária verificou-se proximidade do clone 301 ao LIM no FPSI-19, e do clone 305 3mARI-19. O crescimento do limbo foliar pode minimizar o aquecimento das folhas com o aumento da espessura dos parênquimas clorofilianos, através da absorção, canalização e dispersão da luz (BATISTA *et al.*, 2010).

Os tecidos vasculares também podem apresentar modificações em situação de déficit hídrico (HASANAGIC *et al.*, 2020; QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2014). As plantas são suscetíveis à perda de turgescência, o que dificulta o fluxo do floema em baixos potenciais hídricos do xilema ou durante seca prolongada (SEVANTO, 2014a; SEVANTO *et al.*, 2014b).

Na avaliação entre os clones da cultivar Jequitibá, notou-se maior proximidade do clone 203 com características relacionadas aos vasos condutores, esse clone se aproximou da AF no FPSI-20, 2dARI-20 e 3mARI-20. Entre os clones da cultivar Centenária, o clone 306 teve destaque na AF 2dARI-20. Na ocorrência de estresse hídrico, a translocação de fotoassimilados nas plantas é demasiadamente afetada (DANNOURA *et al.*, 2019), devido a mudanças na anatomia, desenvolvimento do floema e propriedades do floema (SALMON *et al.*, 2019).

No presente estudo, o clone 203 se destacou nas variáveis anatômicas NVX e AX em todos os períodos de avaliação nos dois anos. Entre os clones da cultivar Centenária, verificou-se proximidade do clone 301 com a AX 3mARI em 2019 e maior proximidade dos clones 302 e 306 com a AX 2dARI em 2020. Em condição de déficit hídrico, maiores áreas no sistema vascular possibilitam maior fluxo de nutrientes, água e sais minerais (QUEIROZ-VOLTAN *et al.*, 2014). As modificações na estrutura interna das folhas desempenham um importante papel nas repostas das plantas ao déficit hídrico (TORRE *et al.*, 2021).

Dentre as características anatômicas avaliadas destaca-se o índice de vulnerabilidade do xilema (IVX), quanto maior esse índice, maior propensão à cavitação das plantas, já que permite avaliar o favorecimento ou não de embolia em condições de déficit hídrico (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2012; OLIVEIRA *et al.*, 2018). O clone 204 apresentou maior proximidade do IVX nos dois períodos de avaliação em 2019 (FPSI e 3mARI), indicando maior possibilidade de cavitação em caso estresse hídrico. O clone 204 foi um dos clones com menor produtividade que pode estar relacionado a menor adaptação desse clone (TABELA 3).

O comportamento observado no clone 207 se diferenciou dos demais, pois ele só se aproximou de variáveis anatômicas em apenas um dos períodos avaliados (FPSI-20), com maior proximidade do DV e CHR. Já entre os clones da cultivar Centenária, o clone 302 teve maior proximidade do CHR no FPSI-19, 2dARI-19, FPSI-20 e 2dARI-20. A condutividade hidráulica relativa do xilema está relacionada ao diâmetro e frequência de vasos do xilema.

Em condições de restrição hídrica, o fechamento estomático reduz a capacidade de transporte de água das folhas e limita a condutividade hidráulica nos vasos do xilema (TARATIMA *et al.*, 2020; TORRE *et al.*, 2021). A maior CHR nos clones 207 e 302 pode ter

favorecido o transporte de água e sais minerais durante o período de estresse, o que pode ter melhorado a adaptação, proporcionando maior produtividade nesses dois clones (TABELA 3 e 4).

No presente trabalho, verificou-se que tanto em condições de déficit hídrico imposto, quanto no período após a reidratação das plantas, ocorreu diferenciação entre os clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122, e entre os clones da cultivar Centenária Incaper ES8132, quanto às características fisiológicas.

A regulação da atividade fotossintética das plantas está diretamente relacionada a fatores como disponibilidade hídrica, condições luminosas e temperatura (MORAIS *et al.*, 2003). Dentre os clones da cultivar Jequitibá, o clone 207 que teve maior produtividade, se destacou 2dARI-19 e 3mARI-20 com maior proximidade da taxa fotossintética líquida (*A*). Em relação aos clones da cultivar Centenária, o clone 302 também com maior produtividade, foi evidenciado próximo da taxa fotossintética no FPSI-19. O maior desempenho fotossintético das plantas tem sido relacionado ao aumento da produtividade das culturas (TONIUTTI *et al.*, 2019).

O clone 302 se distanciou da transpiração (3mARI-19) e se aproximou da eficiência do uso da água (FPSI-19 e 3mARI-20). Menor transpiração em condição de restrição hídrica é um mecanismo benéfico, já que está intimamente associado às condições necessárias para a produtividade das culturas, tais como a fixação de CO₂ e a absorção de água (BLUM, 2009; TIME; ACEVEDO, 2021). Roonprapant, Arunyanark e Chutteang (2021) trabalhando com respostas morfológicas e fisiológicas a condições de estresse por déficit hídrico em genótipos de *Coffea canephora*, verificaram queda substancial nos parâmetros de trocas gasosas como resultado do fechamento estomático sob déficit hídrico em todos os genótipos avaliados. O fluxo da transpiração é restringido por reduções na condutância estomática, que pode ser desejável, uma vez que retarda a desidratação das plantas (SILVA *et al.*, 2018).

Entre os clones da cultivar Jequitibá, o 204 se destacou dos demais com proximidade da WUE 3mARI em 2019, e entre os clones da Centenária o clone 308 se aproximou da WUE no FPSI-19 e 2dARI-19, e o clone 309 2dARI-19. A maior eficiência do uso da água (WUE) nas plantas pode reduzir os danos provocados pelo déficit hídrico, e permitir o cultivo em diversas condições ambientais (FERRÃO *et al.*, 2018).

A energia livre da água é representada pelo potencial hídrico (BATISTA *et al.*, 2010; MARRACCINI *et al.*, 2011; PINHEIRO *et al.*, 2005), e é utilizado como um importante parâmetro na diferenciação de clones de café submetidos a baixa disponibilidade hídrica

(PINHEIRO *et al.*, 2004; MARRACCINI *et al.*, 2011). O clone 209 se destacou entre os clones da cultivar Jequitibá com maior proximidade do MPa no FPSI-19, ou seja, menores valores de MPa. Nesse mesmo período também ocorreu diferenciação dos clones da cultivar Centenária, 305, 306 e 309 com maior proximidade do MPa. Destaca-se que os clones 209, 305 e 309 tiveram menor produtividade, nesse sentido, a diminuição do potencial hídrico pode ter prejudicado a produtividade desses clones.

Em relação aos clones da cultivar Jequitibá, notou-se distanciamento do clone 207 da variável CRA. Conforme a disponibilidade de água no solo diminui, ocorre redução do CRA nas folhas, o que pode causar desidratação do protoplasma e prejudicar o crescimento celular (PELOSO *et al.*, 2017).

As clorofilas são moléculas complexas responsáveis pela absorção de luz, transferência de energia e transferência de elétrons durante a fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2017). Entre os clones da cultivar Jequitibá, o clone 208 manteve proximidade da clA, clB e clT em todos os períodos avaliados. Entre os clones da Centenária, o clone 301 teve maior proximidade da clA, clB e clT 2dARI-20, o 302 se aproximou no FPSI-20 e o clone 306 se aproximou 3mARI-19. Quando as plantas mantêm altos valores de clorofilas em condições adversas, pode contribuir com maior crescimento e adaptação em diversos ambientes de cultivo (SILVA *et al.*, 2014).

O estresse causado pela baixa disponibilidade hídrica leva a superprodução de EROs, podendo causar lesões celulares pela oxidação de proteínas, peroxidação de lipídeos, danos ao DNA e até morte da planta (AZAD *et al.*, 2021; GARCÍA-CAPARRÓS *et al.*, 2021). E além dos mecanismos fisiológicos e anatômicos, as plantas podem aumentar a atividade do sistema antioxidante buscando neutralizar as EROs.

A maior quantidade de peróxido de hidrogênio e malondialdeído (MDA), subproduto da peroxidação lipídica, podem indicar estresse oxidativo causado pelo déficit hídrico (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020). Dentre os clones da cultivar Jequitibá verificou-se maior proximidade do clone 207 com o H_2O_2 FPSI-19, e proximidade do clone 209 com o H_2O_2 FPSI-20. O clone 207 se distanciou do H_2O_2 3mARI-19 e no FPSI-20, indicando ativação do sistema antioxidante desse clone contra o estresse oxidativo. Em relação a cultivar Centenária o clone 309 se aproximou do H_2O_2 na última avaliação (3mARI-20).

Concomitantemente, o clone 207 se aproximou da variável MDA no FPSI-19, o clone 208 se aproximou do MDA no FPSI-20 e o clone 209 se aproximou do MDA 3mARI-19. Entre os clones da cultivar Centenária, verificou-se destaque do clone 302 no MDA no FPSI-19 e 3mARI-20, e o clone 308 se aproximou do MDA 3mARI-19. O aumento do nível de MDA

pode causar danos às plantas, tornando-as mais sensíveis frente ao estresse hídrico (ANJUM *et al.*, 2017).

Dentre os clones da cultivar Centenária, foi notado distanciamento do clone 309 da variável MDA, no FPSI-20 e 3mARI-19. Dentre os clones da cultivar Jequitibá, o clone 203 se distanciou do MDA nas avaliações 3mARI-19 e 3mARI-20. Plantas que apresentam níveis mais baixos de MDA em condições de déficit hídrico, indicam resposta eficiente do sistema de defesa antioxidante (ANJUM *et al.*, 2017; CARVALHO, 2008), podendo diferenciar plantas com maior tolerância ou mais adaptadas ao estresse hídrico (BOARETTO *et al.*, 2014; SALES *et al.*, 2015).

As plantas aumentam a atividade do sistema antioxidante buscando equilibrar a superprodução de EROs. A enzima dismutase do superóxido é a linha de frente de defesa da planta para eliminar as EROs, sendo responsável pela dismutação do radical superóxido em H_2O_2 e O_2 (SHARMA *et al.*, 2012; BARBOSA *et al.*, 2014). Na cultivar Jequitibá, o clone 208 se aproximou da SOD no FPSI-19, 3mARI-19 e FPSI-20, e o clone 209 se aproximou dessa variável 3mARI-20. Já entre os clones da cultivar Centenária, o clone 305 se aproximou da SOD 3mARI-20, e o clone 308 se aproximou nos períodos 3mARI-19 e FPSI-20. O aumento da atividade da enzima SOD indica a indução de mecanismos de fotoproteção (HASSAN *et al.*, 2021).

A maior atividade das enzimas CAT e APX indica aumento da defesa contra os efeitos nocivos do H_2O_2 resultante da dismutação da SOD, contribuindo para a menor peroxidação lipídica (CAMPOS *et al.*, 2019). Os clones 203 e 209 se diferenciaram dos demais clones da cultivar Jequitibá pela maior proximidade da variável CAT no FPSI-19, e o clone 208 teve maior proximidade da CAT no FPSI-20. Nas avaliações com os clones da cultivar Centenária, o clone 302 se aproximou da variável CAT 3mARI-19 e no FPSI-20, o clone 308 se aproximou da CAT no FPSI-20, e o clone 309 se aproximou dessa variável 3mARI-20. Os resultados de maior atividade dessa enzima corroboram com outros autores que verificaram níveis elevados de CAT em resposta ao déficit hídrico (ABBOUD *et al.*, 2021; NALINA *et al.*, 2021).

A enzima APX possui maior afinidade pelo H_2O_2 em relação à CAT, e consequentemente, maior eficiência em condições estressantes (SHARMA *et al.*, 2012). Os clones da cultivar Jequitibá 203 (FPSI-20), 207 (FPSI-19 e 3mARI-19) e 208 (3mARI-19) se destacaram próximos da APX, e entre os clones da cultivar Centenária os clones 306 (FPSI-19, FPSI-20 e 3mARI-20) e 308 (FPSI-20) tiveram maior proximidade da APX. O aumento na

atividade da APX em cultivares de *Coffea canephora* em condições de déficit hídrico contribui com a neutralização de H₂O₂ (LIMA *et al.*, 2002; RAMALHO *et al.*, 2018).

O ascorbato (AsA) é um importante antioxidante não enzimático e tem uma grande importância na eliminação das espécies reativas de oxigênio, já que possui capacidade de doar elétrons em reações enzimáticas e não enzimáticas (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020; SHARMA *et al.*, 2012), e de eliminar H₂O₂ juntamente com a APX (RAMALHO *et al.*, 2018). Os clones da cultivar Jequitibá mais próximos do AsA foram 207 no FPSI-19, 3mARI-19 e 3mARI-20, e o clone 209 no FPSI-20, evidenciando resposta no sistema antioxidante não enzimático desses clones frente a condição de déficit hídrico imposto. Em relação a cultivar Centenária, os clones 305 (FPSI-20 e 3mARI-20) e 306 (3mARI-19) tiveram maior proximidade do AsA. A produção de AsA influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas em condição de estresses abióticos (NAZ; AKRAM; ASHRAF, 2016). O AsA ajuda na desintoxicação enzimática de H₂O₂ para evitar danos celulares, como a peroxidação lipídica (HASANUZZAMAN *et al.*, 2020).

Os clones da cultivar Jequitibá e Centenária apresentaram diferentes respostas na atividade do sistema de defesa antioxidante para evitar os danos celulares. Análises dos sistemas antioxidantes enzimáticos e não enzimáticos (SOD, CAT, APX e AsA), podem oferecer respostas esclarecedoras sobre os mecanismos utilizados pelas plantas, em condição de cultivo com imposição de déficit hídrico, sendo uma tecnologia importante na seleção de plantas mais tolerantes (RAMALHO *et al.*, 2018).

5 CONCLUSÕES

Os clones das cultivares Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 apresentaram diferença na produtividade e alterações fisiológicas, anatômicas e bioquímicas nas condições do Cerrado Central, com potencial para utilização em programas de melhoramento como parentais.

Dentre os clones da cultivar Jequitibá ES8122, o clone 207 teve maior produtividade, relação com a condutividade hidráulica relativa, taxa fotossintética líquida, atividade da peroxidase do ascorbato e nível de ascorbato, em alguns períodos de avaliação. O clone 203 teve maior relação com número de vasos do xilema, área do xilema e área do floema em todos os períodos.

Dentre os clones da cultivar Centenária ES8132, o clone 302 teve maior relação com o diâmetro do vaso do xilema, condutividade hidráulica relativa, taxa fotossintética líquida, eficiência do uso da água e atividade da catalase em alguns períodos estudados.

REFERÊNCIAS

- ABBOUD, S. *et al.* Antioxidant status, biochemical and hormonal responses involved in the response of *Olea europaea* L. to water deficit induced by PRD irrigation. **Scientia Horticulture**, [S.l.], v. 276, p. 1-38, 2021.
- ALVARES, C.A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, p. 711-728, 2013.
- ANJUM, S. A. *et al.* Drought induced changes in growth, osmolyte accumulation and antioxidant metabolism of three maize hybrids. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 8, 2017.
- ARAKAWA, N. *et al.* A rapid and sensitive method for the determination of ascorbic acid using 4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline. **Agricultural and Biological Chemistry**, [S.l.], v. 45, n. 5, p. 1289-1290, 1981.
- AZAD, N. *et al.* Physiological mechanism of salicylic acid in *Mentha pulegium* L. under salinity and drought stress. **Brazilian Journal of Botany**, [S.l.], v. 44, n. 2, p. 1-11, 2021.
- BALIZA, D.P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, [S.l.], v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.
- BARBIERI JUNIOR, E. *et al.* Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, [S.l.], v. 42, n. 12, p. 2242-2245, 2012.
- BARBOSA, M. R. *et al.* Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 453-460, 2014.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY, P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian journal of Biological Science**, [S.l.], v. 15, n. 13, p. 413-428, 1962.
- BATISTA, L.A. *et al.* Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agrônômica**, [S.l.], v. 41, n. 3, p. 475-481, 2010.
- BERTOLINO, L. T.; CAINE, R. S.; GRAY, J. E. Impact of stomatal density and morphology on water-use efficiency in a changing world. **Frontiers in plant science**, [S.l.], v. 10, p. 225, 2019.
- BIEMELT, S.; KEETMAN, U.; ALBRECHT, G. Re-Aeration following hypoxia or anoxia leads to activation of the antioxidative defense system in roots of wheat seedlings. **Plant Physiology**, Washington, v.116, p.651- 658, Feb. 1998.
- BLUM, A. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, [S.l.], v. 112, p. 119-123, 2009.

- BOARETTO, L. F. *et al.* Water stress reveals differential antioxidant responses of tolerant and non-tolerant sugarcane genotypes. **Plant Physiology and Biochemistry**, [S.l.], v. 74, p. 165-175, 2014.
- BRIGE, F. A. A. *et al.* Variabilidade genética em café Conilon relativa aos atributos dos grãos em cultivo irrigado no Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 54, 2019.
- BRIGE, F. A. A.; CELESTINO, S. M. C.; AMABILE, R. F.; FAGIOLI, M.; DELVICO, F. M. D.; MONTALVAO, A. P. L.; SALA, P. Genetic variability in Conilon coffee related to grain attributes in an irrigated crop in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 54, 2019.
- CAMPOS, C. N. *et al.* Melatonin reduces oxidative stress and promotes drought tolerance in young *Coffea arabica* L. plants. **Agricultural Water Management**, [S.l.], v. 211, p. 37-47, 2019.
- CANALES, F.J. *et al.* Drought resistance in oat involves ABA-mediated modulation of transpiration and root hydraulic conductivity. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 182, n. 104333, p. 1-14, 2021.
- CARVALHO, M. H. C. Drought stress and reactive oxygen species: production, scavenging and signaling. **Plant signaling & Behavior**, [S.l.], v. 3, n. 3, p. 156-165, 2008.
- CARLQUIST, S. **Comparative Wood Anatomy**. Berlin: New York, Springer, 1988. p. 436.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal: estrutura e função de órgãos vegetativos**. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- CHAVES, M.M; MAROCO, J.P; PEREIRA, J.S. Understanding plant responses to drought—from genes to the whole plant. **Funct Plant Biol.**, [S.l.], v. 30, p. 239-264, 2003.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2020 - terceiro levantamento**. Brasília: Conab, 2020. 54 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 nov. 2020.
- _____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2022 - primeiro levantamento**. Brasília: Conab, 2022. 54 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cafe>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- DaMATTA, F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. **Advances in Plant Physiology**, [S.l.], v. 5, p. 227-265, 2003.
- DaMATTA, F. M. *et al.* 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**, [S.l.], v. 66, n. 21, p. 5264-5274, 2018.
- DANNOURA M, *et al.* The impact of prolonged drought on phloem anatomy and phloem transport in young beech trees. **Tree Physiol**, [S.l.], v. 9, n. 2), p. 201-210, 2019.

FAHAD, S. *et al.* Crop production under drought and heat stress: plant responses and management options. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 8, p. 1147, 2017.

FAHN, A. *et al.* Wood anatomy and identification of trees and shrubs from Israel and adjacent regions. **Isr. Acad. Sci. Hum.**, Jerusalem, Isr. 1040, 1986.

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

FERRÃO, R.G. *et al.* **Conilon coffee**. The *Coffea canephora* produced in Brazil. 3 ed. Vitória, Espírito Santo, Incaper, 2019. 976 p.

FERRÃO, R. G. *et al.* Melhoramento genético para obtenção da cultivar Marilândia ES 8143, variedade clonal de café conilon tolerante a seca. **Multi-Science Research**, [S.l.], v. 1, n. 1, p. 1-18, 2018.

GAMA, T. C. P. da. *et al.* Anatomia foliar, fisiologia e produtividade de cafeeiros em diferentes níveis de adubação. **Coffee Science**, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 42-48, 2017.

GARCÍA-CAPARRÓS, P. *et al.* Oxidative stress and antioxidant metabolism under adverse environmental conditions: a review. **The Botanical Review**, [S.l.], v. 87, n. 4, p. 421-466, 2021.

GIANNOPOLITIS, C.N., RIES, S.K. Superoxide dismutases: I. occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 59, n. 2, p. 309-314, 1977.

GRANT, O. M. *et al.* The impact of drought on leaf physiology of *Quercus suber* L. trees: Comparison of an extreme drought event with chronic rainfall reduction. **J. Exp. Bot.**, [S.l.], v. 61, p. 4361-4371, 2010.

GRISI, F. A. *et al.* Leaf anatomical evaluations in 'Catuaí' and 'Siriema' coffee seedlings submitted to water stress. **Ciência e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 32, p. 1730-1736, 2008.

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

HASANAGIC, D. *et al.* Long term drought effects on tomato leaves: anatomical, gas exchange and antioxidant modifications. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 42, n. 121, p. 1-14, 2020.

HASAN, M. M-U. *et al.* Molecular and physio-biochemical characterization of cotton species for assessing drought stress tolerance. **Int. J. Mol. Sci.**, [S.l.], v. 19, p. 2636, 2018.

HASANUZZAMAN, M. *et al.* Regulation of ROS metabolism in plants under environmental stress: A review of recent experimental evidence. **Internacional Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 21, n. 8695, p. 1-42, 2020.

HASSAN, M.A.E. *et al.* Variability in drought response among the plus tree accessions of *Tectona grandis* (Linn f.) from the provenances of Kerala, South India. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 43, n. 47, p. 1-12, 2021.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill, 1940.

KANE, C.N. *et al.* A permeable cuticle, not open stomata, is the primary source of water loss from expanding leaves. **Frontiers in Plant Science**, [S.l.], v. 11, n. 774, p. 1-9, 2020.

LIMA, A. L. S. *et al.* Photochemical responses and oxidative stress in two clones of *Coffea canephora* under water deficit conditions. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 47, p. 239-247, 2002.

MARRACCINI, P. *et al.* RBCS1 expression in coffee: *Coffea* orthologs, *Coffea arabica* homeologs, and expression variability between genotypes and under drought stress. **BMC Plant Biology**, [S.l.], v. 11, n. 1, p. 85, 2011.

MARTINS, S.C.V. *et al.* How do coffee trees deal with severe natural droughts? An analysis of hydraulic, diffusive and biochemical components at the leaf level. **Trees**, [S.l.], v. 33, n. 6, p. 1679-1693, 2019.

MELO, E. F. *et al.* Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* culti var siriema under drought conditions. **Ciencia e Agrotecnologia**, [S.l.], v. 38, p. 25-33, 2014.

MENDIBURU, F. **Agricolae**: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-0, 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MENGUTAY, M. *et al.* Adequate magnesium nutrition mitigates adverse effects of heat stress on maize and wheat. **Plant Soil**, [S.l.], v. 368, p. 57-72, 2013.

MORAIS, H. *et al.* Características fisiológicas e de crescimento de cafeeiro sombreado com guandu e cultivado a pleno sol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 38, n. 10, p. 1131-1137, 2003.

NALINA, M. *et al.* Water deficit-induced oxidative stress and differential response in antioxidant enzymes of tolerant and susceptible tea cultivars under field condition. **Acta Physiologiae Plantarum**, [S.l.], v. 43, n. 10, p. 1-17, 2021.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

NAZ, H.; AKRAM, N.A.; ASHRAF, M. Impact of ascorbic acid on growth and some physiological attributes of cucumber (*Cucumis sativus*) plants under water-deficit conditions. **Pak. J. Bot.**, [S.l.], v. 48, p. 877-883, 2016.

NOIA JÚNIOR, R. de S. *et al.* Ecophysiology of C3 and C4 plants in terms of responses to extreme soil temperatures. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, [S.l.], v. 30, n. 3, p. 261-274, 2018.

- OLIVEIRA, I. *et al.* Compared leaf anatomy and water relations of commercial and traditional *Prunus dulcis* (Mill.) cultivars under rain-fed conditions. **Scientia Horticulturae**, [S.l.], v. 229, p. 226-232, 2018.
- ONODA, Y. *et al.* The importance of leaf cuticle for carbon economy and mechanical strength. **New Phytologist**, [S.l.], v. 196, n. 2, p. 441-447, 2012.
- PAIVA, J. G. A. *et al.* Verniz vitral incolor 500®: a mounting medium alternative and economically viable. **Acta Bot. Bras.**, [S.l.], v. 20, p. 257-264, 2006.
- PELOSO, A.F.; TATAGIBA, S.D.; REIS, E.F.; PEZZOPANE, J.E.M.; AMARAL, J.F.T. Limitações fotossintéticas em folhas de cafeeiro arábica promovidas pelo déficit hídrico. **Coffee Science**, [S.l.], v. 12, n. 3, p. 389-399, 2017.
- PILLITTERI, L. J.; DONG, J. Stomatal Development in Arabidopsis. **The Arabidopsis Book**, [S.l.], v. 11, p. e0162, 2013.
- PINHEIRO, H. A. *et al.* Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, [S.l.], v. 96, p. 101-108, 2005.
- PINHEIRO, H. A. *et al.* Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science**, [S.l.], v. 167, n. 6, p. 1307-1314, 2004.
- QUEIROZ-VOLTAN, R.B. *et al.* Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Revista Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.
- R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. **R** Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. Disponível em: <http://www.R-project.org>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- RAMALHO, J. C. *et al.* Stress cross-response of the antioxidative system promoted by superimposed drought and cold conditions in *Coffea* spp. **PLoS ONE**, [S.l.], v. 13, 2018.
- RIBEIRO, M. de N. O. *et al.* Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, 2012.
- ROCHA, O. C. *et al.* Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.
- ROONPRAPANT, P.; ARUNYANARK, A.; CHUTTEANG, C. Morphological and physiological responses to water deficit stress conditions of robusta coffee (*Coffea canephora*) genotypes in Thailand. **Agriculture and Natural Resources**, [S.l.], v. 55, n. 3, p. 473-484, 2021.
- SALES, C. R. G. *et al.* Photosynthetic and antioxidant responses to drought during sugarcane ripening. **Photosynthetica**, [S.l.], v. 53, n. 4, p. 547-554, 2015.

- SALMON, Y. *et al.* Drought impacts on tree phloem: from cell-level responses to ecological significance. **Tree Physiology**, [S.l.], v. 39, n. 2, p. 173-191, 2019.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SANTOS, C. M. *et al.* Photosynthetic capacity and water use efficiency in *Ricinus communis* (L.) under drought stress in semi-humid and semi-arid areas. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, **Anais [...]**, [S.l.], v. 89, n. 4, p. 3015-3029, 2017.
- SEGATTO, F.B. *et al.* Técnica para estudo da anatomia da epiderme foliar de batata. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1597-1601, 2004.
- SEVANTO, S. Phloem transport and drought. **Journal of Experimental Botany**, v. 65, p. 1751-1759, 2014a.
- SEVANTO, S. Review paper phloem transport and drought. **Journal of Experimental Botany**, 65(7):1751-1759, 2014b.
- SHARMA, P. *et al.* Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. **Journal of botany**, [S.l.], v. 2012, p. 1-26, 2012.
- SILVA, V. A.; PRADO, F. M.; ANTUNES, W. C. *et al.* Reciprocal grafting between clones with contrasting drought tolerance suggests a key role of abscisic acid in coffee acclimation to drought stress. **Plant Growth Regul.**, [S.l.], v. 85, p. 221-229, 2018.
- SILVA, M. A. *et al.* Pigmentos fotossintéticos e índice SPAD como descritores de intensidade do estresse por deficiência hídrica em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, [S.l.], v. 30, n. 1, 2014.
- SOARES, D. dos S. *et al.* Leaf anatomy, physiology and vegetative growth of fertigated Coffee arabica L. trees after exposure to pruning. **Coffee Science**, [S.l.], v. 16, n. e161962, 2022.
- SOUZA, T. C. de *et al.* Leaf plasticity in successive selection cycles of ‘Saracura’ maize in response to periodic soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, 2010.
- TARATIMA, W. *et al.* Effect of stress on the leaf anatomy of sugarcane cultivars with different drought tolerance (*Saccharum officinarum*, Poaceae). **Revista de Biología Tropical**, [S.l.], v. 68, n. 4, p. 1159-1170, 2020.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TIME, A.; ACEVEDO, E. Effects of water deficits on *Proposis tamarugo* growth, water status and stomata functioning. **Plants**, [S.l.], v. 10, n. 53, p. 1-11, 2021.

TONIUTTI, L. *et al.* An altered circadian clock coupled with a higher photosynthesis efficiency could explain the better agronomic performance of a new coffee clone when compared with a standard variety. **International Journal of Molecular Sciences**, [S.l.], v. 20, n. 736, p. 1-19, 2019.

TORRE, F.D. *et al.* Leaf morphophysiological changes induced by long-term drought in *Jatropha curcas* plants explain the resilience to extreme drought. **Journal of Arid Environments**, [S.l.], v. 185, n. 104381, p. 1-8, 2021.

VELIKOVA, V.; YORDANOV, I.; EDREVA, A. Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants: protective role of exogenous polyamines. **Plant Science**, Clare, v. 151, n. 1, p. 59-66, 2000.

CAPÍTULO 3 METABOLISMO DE CARBOIDRATOS, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE CLONES DE CAFÉ CONILON NO CERRADO CENTRAL

RESUMO

A produção de café na região do Cerrado se destaca devido às suas características climáticas favoráveis, e possibilidade de adoção de técnicas de manejo da irrigação. As cultivares clonais Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 possuem alta capacidade produtiva em condições irrigadas, entretanto, ainda não foram avaliadas nas condições de Cerrado. Portanto, objetivou-se com o presente estudo, avaliar a produtividade, metabolismo de carboidratos e crescimento de clones das cultivares Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132 nas condições de Cerrado Central em sistema irrigado de produção, com um período de déficit hídrico controlado e, além disso, a correlação dessas variáveis com a produtividade. Foram utilizados onze clones de duas cultivares de cafés Conilon, sendo cinco clones da cultivar Jequitibá ES8122 (ciclo intermediário) e seis da cultivar Centenária ES8132 (ciclo tardio). Foi adotado o manejo de irrigação com déficit hídrico controlado por cerca de 64 dias. A coleta de dados foi feita em dois períodos, compreendendo final do período de suspensão hídrica (FPSI), e três meses após o retorno da irrigação (3mARI) para as variáveis relacionadas ao metabolismo de carboidratos, e um período para as variáveis de crescimento em 2019 e 2020. Foi avaliada a produtividade de grãos, altura da planta, projeção da copa e índice de área foliar. Quanto ao metabolismo de carboidratos avaliou-se o amido e o açúcar solúvel total. O clone 207 da cultivar Jequitibá ES8122, teve maior produtividade e maior teor de amido em todos os períodos de avaliação. O clone 203 teve produtividade intermediária e maior teor de amido em um período. O clone 302 da cultivar Centenária ES8132, teve maior produtividade e maiores valores de altura da planta, projeção da copa e índice de área foliar em todos os períodos de avaliação. As variáveis altura da planta, projeção de copa, amido e açúcar solúvel total, possuem correlação positiva com a produtividade. O índice de área foliar tem relação positiva com a produtividade nos clones da cultivar Centenária ES8132, e relação negativa nos clones da cultivar Jequitibá ES8122. Dessa maneira, as características avaliadas possuem potencial para caracterização e auxílio na seleção de clones de *Coffea canephora* que melhor se adaptem ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado.

Palavras-chave: Cafeeiro. *Coffea canephora*. Manejo da irrigação. Área foliar.

ABSTRACT

Coffee production in the Central Cerrado region stands out due to its favorable climatic characteristics and the possibility of adopting irrigation management techniques. The clonal cultivars Jequitibá ES8122 and Centenária ES8132 have high yields under irrigated conditions, however they have not yet been evaluated under Cerrado conditions. Therefore, the objective of the present study was to evaluate the productivity, carbohydrate metabolism and growth of clones of the cultivars Jequitibá ES8122 and Centenária ES8132, under the conditions of the Central Cerrado in an irrigated production system, with a period of controlled water deficit, as well as the correlation of these variables with productivity. Eleven clones of two Conilon coffee cultivars were used, five clones of the cultivar Jequitibá ES8122 (intermediate cycle) and six of the cultivar Centenária ES8132 (late cycle). Irrigation management with controlled water deficit was adopted for about 64 days. Data collection were carried out in two periods, comprising the end of the water suspension period (FPSI), and three months after the return of irrigation (3mARI) for the variables related to carbohydrate metabolism, and a period for the growth variables, in 2019 and 2020. Grain yield, plant height, canopy projection and leaf area index were evaluated. Regarding carbohydrate metabolism, starch and total soluble sugar were evaluated. Clone 207, cultivar Jequitibá ES8122, showed higher productivity and higher starch content in all evaluation periods. Clone 203 presented intermediate productivity and higher starch content in one period. Clone 302, cultivar Centenária ES8132, had higher productivity and higher values of plant height, canopy projection and leaf area index in all evaluation periods. The variables plant height, canopy projection, starch and total soluble sugar have a positive correlation with productivity. The leaf area index has a positive relationship with productivity in clones of the cultivar Centenária ES8132, and a negative relationship in the clones of the cultivar Jequitibá ES8122. In this way, the characteristics evaluated have the potential for characterization and assistance in the selection of *Coffea canephora* clones that best adapt to the irrigation management used in the Cerrado.

Keywords: Coffee tree. *Coffea canephora*. Irrigation management. Leaf area.

1 INTRODUÇÃO

O café está entre as *commodities* agrícolas mais importantes do mundo, representando uma significativa fonte de renda para muitos países (RAMALHO *et al.*, 2014; SEMEDO *et al.*, 2021). As duas espécies com maior importância no comércio global são, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* Pierre ex A. Froehner. A produção de *C. arabica* é a mais significativa, todavia, a espécie é considerada mais sensível a temperaturas elevadas do que *C. canephora* (DaMATTA; RAMALHO, 2006; MARQUES *et al.*, 2021).

O desenvolvimento de novas cultivares de café tem aumentado a produtividade, principalmente no cultivo em sequeiro. Na região do Cerrado, no sistema de cultivo irrigado, a produtividade e a qualidade do café podem ser elevadas devido às suas características climáticas favoráveis, adoção de irrigação, utilização de cultivares e clones superiores, adensamento de plantas, mecanização, além da possibilidade de utilização de técnicas de manejo de irrigação (CONAB, 2022; FERNANDES *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2020).

Com a finalidade de uniformizar a florada e, dessa maneira, maior número de frutos cereja, Guerra, Rocha e Rodrigues (2005) propuseram o uso da técnica de interrupção da irrigação na estação seca (junho a agosto) por cerca de 70 dias. Outra vantagem da utilização dessa técnica é que a colheita coincide com a estação seca, o que evita fermentações indesejadas e resulta em melhor qualidade do café.

Os programas de melhoramento genético têm buscado a seleção de materiais genéticos que tenham melhor potencial de adaptação à região do Cerrado (BRIGE *et al.*, 2019). Diversas pesquisas têm sido realizadas buscando verificar o comportamento do cafeeiro arábica (MACHADO *et al.*, 2017; ARAGAO *et al.*, 2020) e Conilon (BRIGE *et al.*, 2019) no ambiente do Cerrado.

Uma das respostas de tolerância ao estresse hídrico é a produção e translocação de carboidratos e acúmulo de solutos osmoticamente ativos e reservas energéticas (ZHOU *et al.*, 2020). A conversão de amido em açúcares solúveis aumenta a concentração de compostos carbonados nas folhas, o que pode ajudar no controle osmótico (MESQUITA *et al.*, 2020).

No contexto genético-fisiológico, plantas tolerantes às condições de déficit hídrico, refere-se à capacidade de um genótipo produzir mais que outro numa condição de estresse hídrico (BASSETT, 2013; FERRÃO *et al.*, 2016), mantendo suas principais funções durante seu ciclo.

O principal parâmetro utilizado para a seleção de materiais mais promissores é a produção das plantas (FERRÃO *et al.*, 2008). Aliar características de interesse, como a produtividade, a outras características de mais rápido resultado, pode contribuir com os programas de melhoramento, diminuindo os custos e o tempo (MACHADO *et al.*, 2017). Dessa maneira, a utilização da correlação simples entre dois caracteres pode contribuir com os programas de melhoramento, pois permite observar o potencial da seleção indireta (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012; AKPERTEY; ANIM-KWAPONG; OFORI, 2018).

As cultivares Jequitibá ES8122 (ciclo intermediário) e Centenária ES8132 (ciclo tardio) lançadas pelo Incaper, se mostram altamente produtivas em condições irrigadas, necessitando de informações sobre o comportamento em outras regiões de cultivo, como no Cerrado Central. A identificação de clones mais produtivos e que melhor se adaptem ao manejo de irrigação (com déficit hídrico) utilizado na região do Cerrado tem grande importância para os programas de melhoramento.

Dessa maneira, objetivou-se com o presente estudo, avaliar a produtividade de grãos, metabolismo de carboidratos e crescimento de clones das cultivares Jequitibá ES8122 e Centenária ES8132, nas condições de Cerrado Central em sistema irrigado de produção, com um período de déficit hídrico controlado, além disso, a correlação dessas variáveis com a produtividade.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização e caracterização da área experimental

As avaliações foram realizadas em um experimento conduzido em campo, localizado na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, unidade Embrapa Cerrados, em Planaltina-DF, latitude: 15°35'30" S e longitude: 47°42'30" W. O clima dominante é o Aw, tropical quente e úmido, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com duas estações típicas, período chuvoso (outubro a abril) e período seco (maio a setembro). O solo é classificado como Latossolo vermelho (SANTOS *et al.*, 2018) e textura argilosa (42% argila, 30% areia fina). A altitude da área é de aproximadamente 1050 m, com temperatura e pluviosidade médias anuais de 21,3 °C e 1.200 mm, respectivamente.

O plantio dos clones foi realizado com mudas propagadas por estacas, em fevereiro de 2016. A adubação no plantio foi realizada com 300 kg P₂O₅ por hectare, no sulco, o nitrogênio e potássio foram aplicados em cobertura cerca de 40 dias após o plantio.

Para coberturas no primeiro ano após plantio e formação das plantas (2017) foram fornecidos 200 kg.ha⁻¹ P₂O₅, parcelados dois terços em setembro e um terço no mês de dezembro. Para o fornecimento de nitrogênio e potássio em cobertura, foram utilizados 200 kg.ha⁻¹ do nutriente, na forma de ureia e cloreto de potássio, parcelados em quatro vezes a cada quarenta dias. No segundo ano após plantio (2018) e anos seguintes, foram fornecidos 300 kg.ha⁻¹ P₂O₅ parcelados dois terços em setembro e um terço no mês de dezembro e 400 kg.ha⁻¹ de nitrogênio e potássio, parcelados em setembro, novembro, janeiro e março. Os micronutrientes foram fornecidos com 100 kg.ha⁻¹ do produto comercial FTE BR12, aplicados em cobertura em dezembro.

As parcelas foram compostas de uma linha com 20 plantas, com espaçamento de 3,5 metros entre linhas e 0,5 metro entre plantas, perfazendo uma população de 5.714 plantas por hectare. Dessa forma, pelo curto espaço entre plantas, os clones foram conduzidos com duas hastes verticais.

No experimento foi utilizado sistema de irrigação por pivô central, seguindo o critério de manejo da irrigação do balanço hídrico do solo, a partir do Sistema de Monitoramento de Irrigação no Cerrado (ROCHA *et al.*, 2006), fornecendo a lâmina líquida, intervalo e o momento de irrigação. No segundo ano após o plantio, foi utilizado o estresse hídrico

controlado, por cerca de 64 dias, no período entre final de junho ao início de setembro. (GUERRA; ROCHA; RODRIGUES, 2005).

O monitoramento de pragas e doenças aconteceu regularmente, conforme o calendário agrícola da cultura e, quando atingiam os níveis de controle, foi realizado o manejo fitossanitário, com produtos registrados para a cultura, seguindo as orientações dos fabricantes.

2.2 Tratamentos e delineamento experimental

No experimento foram utilizados clones de duas cultivares Conilon da espécie *Coffea canephora*, sendo a cultivar clonal Jequitibá Incaper ES8122 composta por nove clones, com maturação dos frutos intermediária e a cultivar clonal Centenária Incaper ES8132 composta por nove clones, de maturação dos frutos tardia, lançadas pelo Incaper - ES 2013 e propagadas por estaquia. Cada cultivar é composta pelo agrupamento de nove genótipos distintos.

Assim, no campo, foram instalados dois experimentos, alocados com o delineamento em blocos casualizados (DBC), com três repetições. Cada experimento composto por nove clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 e nove clones da cultivar Centenária Incaper ES8132.

A partir dos dados da produtividade do ano 2018 (primeira colheita comercial) e do potencial hídrico foliar de 2019, dos dezoito clones das duas cultivares, foram selecionados onze clones contrastantes, sendo cinco da cultivar Jequitibá Incaper ES8122 e seis da cultivar Centenária Incaper ES8132 (TABELA 5). Esses clones foram selecionados pois não seria possível realizar todas as análises nos dezoito clones durante a execução do trabalho.

Tabela 5 - Clones de *Coffea canephora* avaliados na área experimental da Embrapa Cerrados, Planaltina – DF.

Cultivar		Jequitibá Incaper ES8122				
Clones	203	204	207	208	209	
Época de maturação	Junho					
Cultivar		Centenária Incaper ES8132				
Clones	301	302	305	306	308	309
Época de maturação	Julho					

Fonte: Da autora (2022).

Devido aos diferentes ciclos de maturação dos grãos nas duas cultivares, e ao efeito da alogamia no café Conilon com 100% da fecundação cruzada, ocasionada pela autoincompatibilidade gametofítica, foram realizados dois ensaios no campo.

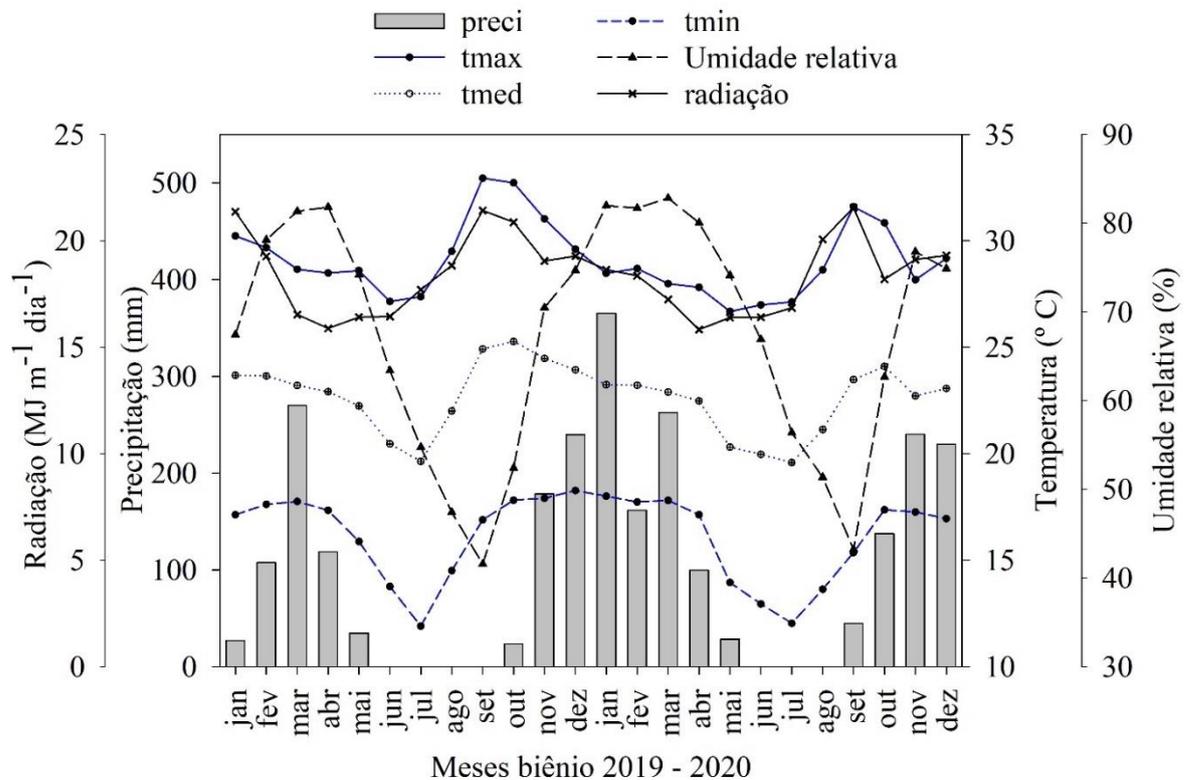
2.3 Características avaliadas

Foram realizadas avaliações de metabolismo de carboidratos, por meio do amido e açúcar solúvel total, no final do período de suspensão hídrico (FPSI), na última semana do mês de agosto e três meses após o retorno da irrigação (3mARI), no mês de dezembro, para verificar as respostas dos clones no fim do período do estresse hídrico aplicado (cerca de 64 dias sem irrigação) e três meses após a reidratação.

Realizou-se avaliações relacionadas ao crescimento das plantas no mês de agosto, após a colheita das duas cultivares, e utilizou-se duas plantas em cada uma das três parcelas. A colheita foi realizada no mês de junho para cultivar Jequitibá ES8122 e no mês de julho para cultivar Centenária ES8132, sendo utilizado os dados de produtividade das duas colheitas mais altas, sendo a primeira em 2018 e a segunda em 2020.

Os dados climáticos foram monitorados, por meio de uma estação meteorológica automática, localizada na EMBRAPA Cerrados – Planaltina/DF, obtendo dados como volume das chuvas (precipitação), temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa média do ar e radiação (FIGURA 14).

Figura 14 – Representação gráfica das variáveis climatológicas registradas, mensalmente, nos dois anos de avaliação (2019 e 2020). Planaltina – DF, 2022.



Fonte: Da autora (2022).

2.3.1 Crescimento

A altura das plantas foi medida em metros, do colo das plantas até a gema apical de um ramo ortotrópico. A projeção da copa foi medida em metros a aproximadamente 1 m do solo no sentido transversal à linha de plantio para um ramo ortotrópico.

O índice de área foliar foi avaliado em apenas um período no ano 2019. As medições de índice de área foliar (IAF) (m²/m²) foram obtidas por meio da utilização do AccuPAR PAR/LAI Ceptometer, modelo LP-80, fabricado pela Decagon Devices, Inc, Pullman, WA, USA, realizando medidas de 3 plantas, e em cada planta, foram realizadas 6 medidas da radiação interceptada, posicionando-se a barra de sensores abaixo do dossel em 3 posições de cada lado do ramo ortotrópico. Em todas as medidas foi utilizado um sensor externo de PAR conectado ao LP-80 e posicionado fora das parcelas experimentais. A Área Foliar Específica (AFE), foi obtida pela razão entre a Área Foliar Total (m²) (AFT) e o Peso da Matéria Seca da Folha (kg) (MSF): AFE= AFT/MSF.

2.3.2 Determinação dos carboidratos

Foi realizada a extração de macro e micromoléculas, utilizando-se 0,4 g do tecido foliar fresco macerado em N₂ líquido, homogeneizados em 10 mL de tampão fosfato de potássio 0,1 M pH 7, seguido de banho-maria por 30 minutos a 40 °C. O homogeneizado foi centrifugado a 10.000 g por 10 minutos, coletando-se o sobrenadante, e posteriormente, foi armazenado em tubo falcon devidamente identificados a -20 °C até a data do ensaio. As alíquotas do sobrenadante foram utilizadas para as análises de açúcares solúveis totais (adaptado de ZANANDREA *et al.*, 2010).

A extração para quantificação do amido se deu após os processos de homogeneização e centrifugação dos tecidos já descritos anteriormente. Para obtenção dos extratos brutos o pellet foi ressuscitado com 8 mL de tampão acetato de potássio 200 mM pH 4,8, adicionado 2mL da solução da enzima amiloglucosidase 1 mg/mL. Esse foi incubado em banho-maria por 2 horas a 40 °C, centrifugado a 10.000 g por 10 minutos. Foi coletado o sobrenadante e armazenado em tubo falcon a -20 °C até a data da análise.

A quantificação do amido foi feita pelo método da Antrona (hidroxiantraceno) (YEMM; WILLIS, 1954). O reagente antrona foi preparado com 40 mg de antrona e 1,0 mL de água destilada, posteriormente, foi adicionado 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). Foram utilizadas alíquotas resultantes da ressuspensão dos pellets do extrato de macro e micromoléculas como descrito anteriormente, e adicionado o reagente antrona. Após a preparação da solução, os tubos foram agitados e levados a banho-maria 100 °C por três minutos. Depois do resfriamento, foi realizada a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 620 nm.

Para a quantificação dos açúcares solúveis (AST) totais foi utilizado o método da antrona (hidroxiantraceno) (YEMM; WILLIS, 1954). Para isto, foi feita a preparação do reagente antrona, contendo 40 mg de antrona e 1,0 mL de água destilada, e em seguida foi adicionado 20 mL de ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). O reagente antrona foi adicionado em alíquotas obtidas da extração de macro e micromoléculas descrito anteriormente. Após a preparação da solução, os tubos foram agitados e levados a banho-maria 100 °C por três minutos. Por fim, após o resfriamento, foi realizada a leitura em espectrofotômetro no comprimento de onda de 620 nm.

2.4 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos às pressuposições da ANOVA, verificando a normalidade e homogeneidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e de Bartlett, respectivamente, por meio do programa R (R CORE TEAM, 2021).

Realizou-se a análise de variância com a significância das fontes de variação verificada pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade, que, por sua vez, para o estudo das médias, utilizou-se o teste de Skott-Knott com o programa R (R CORE TEAM, 2021), usando o pacote *Agricolae* (MENDIBURU, 2014).

Além disso, empregou-se a análise de correlação de Pearson entre os valores de produtividade com as variáveis relacionadas ao crescimento e metabolismo de carboidratos, também por meio do software R (R CORE TEAM, 2021).

3 RESULTADOS

3.1 Cultivar Jequitibá Incaper ES8122

Verificou-se diferença significativa na produtividade média (2018 e 2020) dos diferentes clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122, com maior valor médio no clone 207 e menores valores nos clones 204 e 209, já os clones 203 e 208 tiveram produtividade intermediária (TABELA 6).

Os clones da cultivar Jequitibá apresentaram diferença significativa para variável índice de área foliar no FPSI em 2019, com maior valor observado no clone 209 e menor valor no clone 203.

No ano 2019, com plantas aos três anos, não foi observada diferença significativa entre os clones para as variáveis altura da planta (ALT) e projeção da copa (PC). Já no ano 2020 os clones 204 e 209 apresentaram maior ALT, e os clones 207 e 209 tiveram maior PC.

Tabela 6 - Produtividade média 2018/2020 (PROD – sc.ha⁻¹), índice de área foliar (IAF) em 2019, altura da planta (ALT – m) e projeção da copa (PC – cm) em avaliações de 2019 e 2020, em clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122.

CLONES	PROD	IAF	ALT	PC	ALT	PC
	2018/2020	2019	2019	2019	2020	2020
203	129,83 b	2,13 d	1,83 a	94,50 a	2,15 b	85,00 b
204	87,91 c	3,18 b	2,05 a	88,33 a	2,45 a	79,00 b
207	173,00 a	2,47 c	2,14 a	94,67 a	2,33 b	95,00 a
208	113,98 b	2,63 c	1,91 a	72,67 a	2,25 b	85,00 b
209	89,66 c	3,68 a	2,21 a	83,50 a	2,58 a	92,00 a

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022)

Para a análise de carboidratos realizada em quatro períodos em 2019 e 2020, notou-se diferentes comportamentos entre os clones da cultivar Jequitibá (TABELA 7).

No FPSI-19, observou-se diferença significativa entre os clones para a variável amido com maior valor médio no clone 207 e valor intermediário no clone 203 e os demais clones apresentaram menores valores. Ainda no FPSI-19 notou-se maior valor de açúcar solúvel total (AST) no clone 208 e os clones 204 e 209 tiveram menores valores.

Três meses após o retorno da irrigação em 2019, de forma semelhante a avaliação anterior, o maior valor de amido foi no clone 207, valor intermediário no clone 203 e os demais

clones apresentaram menores valores. Para a variável AST não houve diferença significativa entre os clones.

Na avaliação realizada no FPSI-20 foi notada diferença significativa para a variável amido, com o clone 207 novamente apresentado maior valor e os demais clones com menores valores. Não houve diferença significativa entre os clones para variável AST.

Para a avaliação realizada três meses após o retorno da irrigação em 2020 os clones tiveram diferença significativa, com maiores valores médios nos clones 207 (mesmo padrão de resposta nas quatro avaliações) e 203. Em relação a AST nesse período houve diferença significativa, sendo observado menor valor no clone 209.

Tabela 7 - Valores médios de amido (umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (umol de glicose g⁻¹ MF) em clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122 no final do período de suspensão hídrica em 2019 e 2020 (FPSI-19, FPSI-20) e três meses após o retorno da irrigação em 2019 e 2020 (3MARI-19 e 3MARI-20).

CLONES	Amido	AST	Amido	AST
	FPSI-19		3mARI-19	
203	12,56 b	41,14 c	14,57 b	46,83 a
204	9,44 c	31,46 d	11,99 c	47,09 a
207	14,91 a	49,53 b	16,96 a	57,13 a
208	10,69 c	66,13 a	11,40 c	51,99 a
209	9,98 c	31,41 d	12,29 c	46,72 a
	FPSI-20		3mARI-20	
203	12,81 b	36,63 a	18,38 a	52,50 a
204	12,63 b	45,29 a	15,36 b	51,58 a
207	17,99 a	59,39 a	17,67 a	51,19 a
208	12,81 b	49,22 a	11,74 c	55,02 a
209	13,65 b	49,14 a	13,09 c	44,84 b

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022)

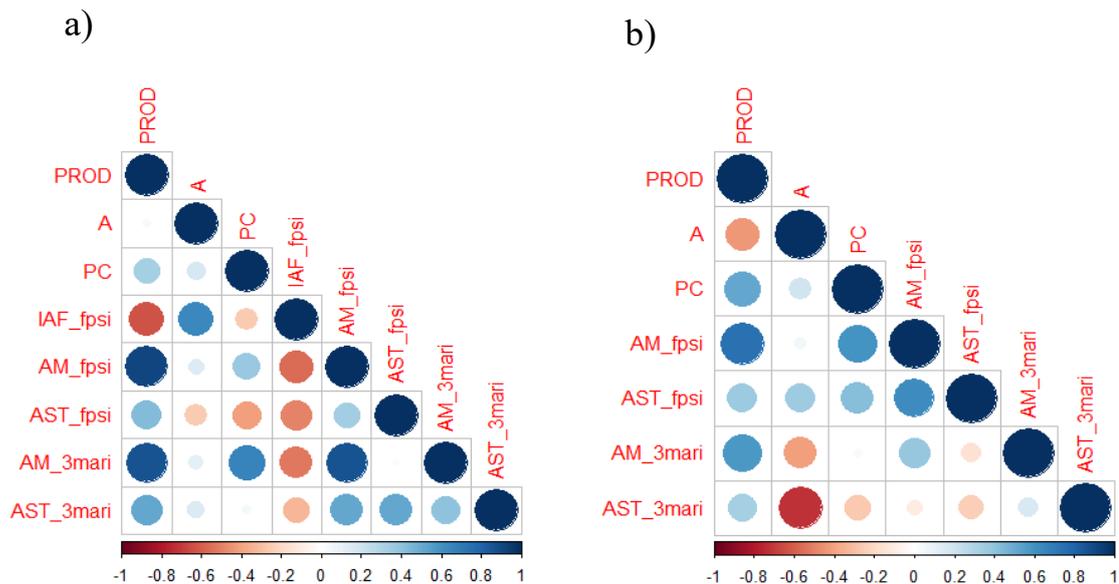
Com base no teste de correlação ressalta-se que houve correlações significativas entre as variáveis de crescimento e do metabolismo de carboidratos com a produtividade da cultivar Jequitibá Incaper 8122, em 2019 e 2020 (FIGURA 13 a e b).

No ano de 2019 na avaliação realizada no FPSI, verificou-se correlação negativa média entre o índice de área foliar (IAF) e a produtividade média (-0,6361). Nesse mesmo período a variável amido teve correlação positiva alta com produtividade média (0,9155). Ainda no ano de 2019, na avaliação de 3mARI, a variável amido apresentou novamente correlação positiva

alta com a produtividade média (0,8629) e a variável AST teve correlação positiva (0,5109) (FIGURA 13 a e TABELA 8).

Seguindo o mesmo padrão de resposta, na avaliação realizada no FPSI em 2020, a variável amido teve correlação positiva alta com a produtividade média (0,7470), nesse mesmo período a variável PC apresentou correlação positiva média com a produtividade (0,5158). Nesse mesmo ano, 3mARI, foi observada correlação positiva média entre o amido e a produtividade (FIGURA 13 b e TABELA 8).

Figura 15 - Correlação entre produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc.ha^{-1}), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm), índice de área foliar (IAF), amido (AM – $\text{umol de glicose g}^{-1}$ MF), e açúcar solúvel total (AST – $\text{umol de glicose g}^{-1}$ MF) em clones da cultivar Jequitibá Incaper 8122, no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2019 (a) e no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2020 (b).



Fonte: Da autora (2022).

Tabela 8 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis, produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc.ha⁻¹), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm), índice de área foliar (IAF), amido (AM – umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (AST – umol de glicose g⁻¹ MF) em 2019 e 2020 em clones da cultivar Jequitibá Incaper ES8122.

	2019		2020
	PROD		PROD
PROD	1	PROD	1
A	0,0385	A	-0,4328
PC	0,3343	PC	0,5158
IAF	-0,6331	IAF	-
AM_fpsi	0,9155	AM_fpsi	0,7470
AST_fpsi	0,4386	AST_fpsi	0,3623
AM_3mari	0,8629	AM_3mari	0,5769
AST_3mari	0,5109	AST_3mari	0,3301

Fonte: Da autora 2022).

3.2 Cultivar Centenária Incaper ES8132

Nas avaliações com clones da cultivar Centenária Incaper ES8132, verificou-se diferença significativa entre os clones, com maior produtividade média no clone 302 e produtividade intermediária nos 301 e 306, já os clones 305, 308 e 309 tiveram menores valores (TABELA 9).

Para o índice de área foliar no FPSI-19, verificou-se diferença significativa entre os clones da cultivar Centenária, com maiores valores no clone 302 e 306 e menor valor no clone 308 (TABELA 9).

Os clones apresentaram diferença significativa para variável altura (A) e projeção da copa (PC), com maiores valores no clone 302 nos dois anos de avaliação (TABELA 9).

Tabela 9 - Produtividade média 2018/2020 (PROD – sc.ha⁻¹), índice de área foliar (IAF) em 2019 e altura da planta (A – m) e projeção da copa (PC – cm) em 2019 e 2020, em clones da cultivar Centenária Incaper 8132.

CLONES	PROD	IAF	A	PC	A	PC
	2018/2020	2019	2019	2019	2020	2020
301	114,91 b	3,13 b	1,75 c	72,33 b	2,00 c	90,00 b
302	142,53 a	3,68 a	2,14 a	99,67 a	2,55 a	125,00 a
305	95,23 c	2,83 b	1,84 c	81,50 b	2,23 b	72,00 c
306	118,17 b	3,73 a	1,79 c	76,67 b	2,28 b	76,00 c
308	102,23 c	2,23 c	2,01 b	81,33 b	2,27 b	85,00 b
309	93,63 c	3,03 b	1,74 c	67,50 b	2,07 c	73,50 c

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Da autora (2022)

Com base nos resultados das análises de carboidratos, não houve diferença significativa entre os clones da cultivar Centenária para a variável amido no FPSI-19. Ainda nesse período, os clones tiveram diferença significativa para a AST, com maiores valores médios nos clones 301, 302 e 305, já o clone 306 apresentou menor valor (TABELA 10).

Três meses após o retorno da irrigação em 2019 verificou-se diferença significativa entre os clones para variável amido, sendo os clones 301 e 308 os que apresentaram maiores valores. Nesse mesmo período, notou-se diferença significativa entre os clones para AST, com maiores valores nos clones 305, 306 e 309.

Na avaliação realizada no FPSI-20 foi verificada diferença significativa entre os clones com maiores valores de amido nos clones 305 e 308. Já para variável AST não houve diferença significativa nesse período.

Em relação à avaliação realizada 3mARI-20, os clones apresentaram diferença significativa para variável amido com maiores valores nos clones 302, 306, 308 e 309. Para variável AST também houve diferença significativa entre os clones nesse período, com maior valor no clone 302.

Tabela 10 - Valores médios de amido (umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (umol de glicose g⁻¹ MF) em clones da cultivar Jequitibá Centenária 8132 no final do período de suspensão hídrica em 2019 e 2020 (FPSI-19, FPSI-20) e três meses após o retorno da irrigação em 2019 e 2020 (3MARI-19 e 3MARI-20).

CLONES	Amido	AST	Amido	AST
	FPSI-19		3MARI-19	
	301	10,19 a	41,41 a	13,78 a
302	11,87 a	42,38 a	12,89 b	57,25 b
305	11,27 a	42,42 a	12,76 b	61,84 a
306	11,71 a	32,27 c	12,23 b	60,14 a
308	11,03 a	38,13 b	15,01 a	54,25 b
309	9,97 a	38,84 b	12,31 b	59,53 a
<hr/>				
	FPSI-20		3mARI-20	
301	12,80 d	56,72 a	17,04 b	59,20 b
302	15,68 b	55,22 a	18,26 a	67,80 a
305	16,87 a	50,04 a	14,70 c	48,65 d
306	15,18 b	52,36 a	20,26 a	57,71 b
308	17,20 a	57,54 a	18,93 a	61,44 b
309	14,28 c	55,47 a	20,57 a	53,52 c

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna constituem grupo estatisticamente homogêneo de acordo com o critério de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

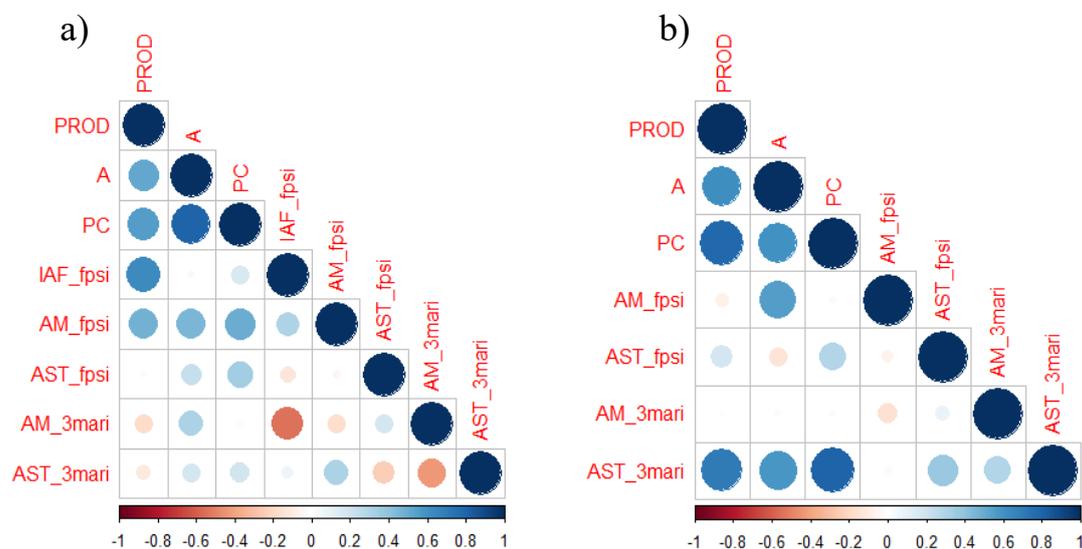
Fonte: Da autora (2022)

No teste de correlação realizado com as variáveis relacionadas ao crescimento das plantas e o metabolismo de carboidratos e produtividade média da cultivar Centenária Incaper 8132, foi verificado algumas correlações significativas (FIGURA 14 a e b).

Na avaliação realizada em 2019, houve correlação positiva média entre as variáveis altura da planta (A) e produtividade média (0,5160) e entre projeção do caule e produtividade média (0,5540). No FPSI-19 a variável índice de área foliar teve correlação positiva média com a produtividade (0,6361), e a variável amido também apresentou correlação positiva média com a produtividade (0,4735) (TABELA 11) (FIGURA 14 a).

Na avaliação no ano 2020, verificou-se correlação positiva média entre a variável altura da planta e a produtividade média (0,6184). Nesse mesmo ano, a variável PC teve correlação positiva alta com a produtividade (0,7874). Na avaliação realizada três meses após o retorno da irrigação notou-se correlação positiva alta entre a variável AST e produtividade média (0,7094) (TABELA 11) (FIGURA 14 b).

Figura 16 - Correlação entre produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc/ha), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm) amido (AM – umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (AST – umol de glicose g⁻¹ MF) em clones da cultivar Centenária Incaper 8132, no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2019 (a) e no final do período de suspensão hídrica e três meses após o retorno da irrigação em 2020 (b).



Fonte: Da autora (2022).

Tabela 11 - Coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis, produtividade média do ano 2018 e 2020 (PROD – sc/ha), altura da planta (A – m), projeção da copa (PC – cm), índice de área de área foliar (IAF), amido (AM – umol de glicose g⁻¹ MF) e açúcar solúvel total (AST – umol de glicose g⁻¹ MF) em clones da cultivar Centenária Incaper 8132 em 2019 e 2020.

	2019		2020	
	PROD		PROD	
PROD	1		PROD	1
A	0,5160		A	0,6184
PC	0,5540		PC	0,7874
IAF_fpsi	0,6361		IAF_fpsi	-
AM_fpsi	0,4735		AM_fpsi	-0,0763
AST_fpsi	0,0266		AST_fpsi	0,1892
AM_3mari	-0,1862		AM_3mari	0,0109
AST_3mari	-0,1162		AST_3mari	0,7094

Fonte: Da autora (2022).

4 DISCUSSÃO

As cultivares clonais de café Conilon Jequitibá 8122 e Centenária Incaper 8132, se diferenciaram quanto à época de maturação dos frutos, intermediária (junho) e tardia (julho) respectivamente. Os resultados do presente trabalho permitem inferir que os clones das duas cultivares, submetidos ao manejo de irrigação com déficit hídrico controlado, tiveram diferentes respostas em relação à produtividade e às variáveis de crescimento e metabolismo de carboidratos das plantas. O cafeeiro quando é submetido a diferentes ambientes de cultivo demonstra ser uma cultura com plasticidade fenotípica (BALIZA *et al.*, 2012; CAVATTE *et al.*, 2012; MARTINS *et al.*, 2019; RODRIGUES *et al.*, 2018), ou seja, as plantas podem apresentar modificações para se adaptar às novas condições.

Dentre os clones avaliados nas duas cultivares, verificou-se diferença significativa na produtividade dos clones, demonstrando maior desempenho produtivo no clone 207 na cultivar Jequitibá com produtividade média de 173 sc.ha⁻¹, e no clone 302 na Cultivar Centenária com 142,53 sc.ha⁻¹ (2018/2020). Ferrão *et al.* (2015), avaliando os mesmos clones na região de origem, verificaram estabilidade de produção ao longo dos anos e produtividades médias de 84 e 120 sacas em condições de sequeiro e irrigada respectivamente. A produtividade das plantas é resultado de uma série de processos fisiológicos e reações complexas, que pode ser influenciada por diferentes condições externas (NASYROV, 1978).

A área foliar é uma variável de crescimento que interfere no processo fotossintético, no qual resulta maior produção de fotoassimilados, com posterior distribuição para os diversos órgãos da planta (FERRARI *et al.*, 2015). Os clones 302 e 306, com maior IAF entre os clones da cultivar Centenária, foram também os mais produtivos. No teste de correlação constatou-se correlação positiva entre o IAF e a produtividade média. Nesse sentido, o aumento da área foliar e, conseqüentemente, maior produção de fotoassimilados pode ter sido direcionada à produção de frutos.

A cultivar Jequitibá teve comportamento diferente do observado na Centenária, com maior valor de IAF no clone 209 de menor produção. No teste de correlação notou-se correlação negativa entre o IAF e a produtividade média. Dessa maneira, a distribuição de fotoassimilados pode ter sido direcionada para outras funções, como no crescimento, verificado na maior altura do clone 209 no ano 2020.

Características relacionadas ao crescimento da planta, como maior projeção da copa, pode ser tida como indicativo de maior produtividade da planta, como constatado no clone 302,

mais produtivo da cultivar Centenária, e com maiores valores de altura da planta e projeção da copa, em todos os períodos de avaliação. No teste de correlação entre as variáveis e a produtividade média da cultivar Centenária, verificou-se correlações positivas entre as variáveis de crescimento e a produtividade nos dois anos.

A capacidade de adaptação e aclimatação à baixa disponibilidade hídrica do solo tem grande importância para o crescimento e produtividade das culturas (GALLÉ; FELLER, 2007). Diversos trabalhos verificaram correlações positivas entre produtividade e diâmetro da copa (DHALIWAL, 1968; SILVA ROLLA *et al.*, 1997; MARTINEZ *et al.*, 2007; CARVALHO *et al.*, 2010; ALVES *et al.*, 2021). Segundo Freitas *et al.* (2007) elevados valores de diâmetro de copa garantem maior número de gemas frutíferas (rosetas) por ramo plagiotrópico.

Em relação à altura das plantas e projeção da copa, a cultivar Jequitibá teve comportamento diferente da Centenária, não sendo verificada nenhuma correlação entre essas variáveis e a produtividade em 2019. Já em 2020, a variável ALT teve correlação negativa baixa com a produtividade, e a PC teve correlação positiva média. A disponibilidade hídrica afeta significativamente o crescimento das plantas, sendo a água, o fator principal nas reações metabólicas e nos processos de transporte, translocação de foto assimilados, turgescência celular e abertura e fechamento dos estômatos (TAIZ; ZEIGER, 2017).

O clone 207 da cultivar Jequitibá, apresentou maior teor de amido nos dois anos de avaliação. Concomitantemente, verificou-se correlação positiva entre o amido e a produtividade em todos os períodos avaliados. Livramento *et al.* (2002), observaram que plantas de cafeeiros com maiores teores de amido nos ramos e nos caules após a colheita, proporcionam brotações mais vigorosas. O acréscimo de amido pode trazer aumentos significativos na fase de ‘enchimento de grãos’ (BATISTA *et al.*, 2012; DaMATTA *et al.*, 2016). A espécie *C. canephora* é capaz de acumular grandes concentrações foliares de amido (14% em base massa seca) sem qualquer limitação da fotossíntese (MORAIS *et al.*, 2012).

Os teores de carboidratos não-estruturais como o amido e os açúcares solúveis redutores e não-redutores, controlam processos como o crescimento de folhas, caule e raiz; atividade cambial; desenvolvimento reprodutivo (KOZLOWSKI, 1992). Assim, o clone 207 se mostrou eficiente no acúmulo de amido, o que pode ter contribuído com a maior produtividade verificada nesse clone.

Os açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose), têm grande importância para a estrutura geral e crescimento das plantas. Os clones da cultivar Centenária apresentaram diferenças mais pronunciadas em relação a AST, com maior acúmulo nos clones 301, 302 e 305

no FPSI-19, 305, 306 e 309 3mARI-19 e no 302 no FPSI-20. O acúmulo de açúcares promove maior investimento em desenvolvimento, o que pode aumentar a resistência das plantas em situação de estresse (KANECHI *et al.*, 1988; CHEN *et al.*, 2020).

Em condições de falta de água a conversão de amido em açúcares solúveis aumenta a concentração de compostos carbonados nas folhas, o que auxilia no controle osmótico da planta (MESQUITA *et al.*, 2020). Dessa maneira, a célula mantém o seu turgor, possibilitando a manutenção do aparelho fotossintético, garantindo a assimilação de carbono pela planta (HU *et al.*, 2015).

O acúmulo de açúcar solúvel total aumenta o conteúdo de prolina e estimula a atividade de enzimas antioxidantes sob estresse abiótico (HELLMAN *et al.*, 2000; SINGH *et al.*, 2015). O acúmulo de açúcar também impede a oxidação de células da membrana sob deficiência de água, mantém a turgidez das folhas e previne a desidratação de membranas e proteínas (KRASENSKY; JONAK, 2012).

A produção e translocação de carboidratos e acúmulo de solutos osmoticamente ativos e reservas energéticas, é uma das respostas de tolerância ao estresse em plantas (ZHOU *et al.*, 2020). Quando as plantas estão sob déficit hídrico as concentrações de açúcares contribuem com a manutenção e estabilidade da membrana, além de manter as proteínas de modo a permanecerem funcionais (LIPIEC *et al.*, 2013).

5 CONCLUSÕES

Dentre os clones da cultivar Jequitibá ES8122, o 207 teve maior produtividade e maior teor de amido em todos os períodos de avaliação. O clone 203 teve produção intermediária e maior teor de amido em um período.

Dentre os clones da cultivar Centenária Incaper ES8132, o 302 teve maior produtividade e maiores valores de altura da planta, projeção da copa e índice de área foliar em todos os períodos de avaliação.

As variáveis altura da planta, projeção de copa, amido e açúcar solúvel total, possuem correlação positiva com a produtividade. O índice de área foliar teve relação positiva com a produtividade nos clones da cultivar Centenária ES8132, e relação negativa nos clones da cultivar Jequitibá ES8122.

As características avaliadas possuem potencial para caracterização e auxílio na seleção de clones de *Coffea canephora* que melhor se adaptem ao manejo de irrigação utilizado no Cerrado Central.

REFERÊNCIAS

- AKPERTEY, A.; ANIM-KWAPONG, E.; OFORI, A. P. Genetic Variation among Robusta Coffee Genotypes for Growth and Yield Traits in Ghana. **The Journal of Agricultural Science**, [S.l.], v. 10, p. 138, 2018.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [S.l.], v. 22, p. 711-728, 2013.
- ALVES, G. S. P.; COELHO, A. P.; LEMOS, L. B. Crescimento vegetativo, produtividade e qualidade pós-colheita de cultivares de café de porte baixo em região de baixa altitude. **Revista Agroecossistemas**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 63-83, 2021.
- ARAGAO, O. O. D. *et al.* Microbiological indicators of soil quality are related to greater coffee yield in the Brazilian Cerrado region. **Ecological Indicators**, [S.l.], v. 113, Jun 2020.
- BALIZA, D.P. *et al.* Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, 2012.
- BASSETT, C. L. Water use and drought response in cultivated and wild apples. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. (Eds.). **Abiotic Stress-Plant Responses and Applications in Agriculture**, p. 249-275, 2013.
- BATISTA, K. D. *et al.* Photosynthetic limitations in coffee plants are chiefly governed by diffusive factors. **Trees**, [S.l.], v. 26, p. 459-468, 2012.
- BRIGE, F. A. A. *et al.* P. Genetic variability in Conilon coffee related to grain attributes in an irrigated crop in the Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 54, 2019.
- CARVALHO, A. M. D. *et al.* D. Correlação entre crescimento e produtividade de cultivares de café em diferentes regiões de Minas Gerais, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 45, n. 3, p. 269-275, 2010.
- CAVATTE, P. C. *et al.* Could shading reduce the negative impacts of drought on coffee?: a morphophysiological analysis. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 144, n. 2, p. 111-122, 2012.
- CHEN, Z. *et al.* Water-nutrient management enhances root morpho-physiological functioning, phosphorus absorption, transportation and utilization of cotton in arid region. **Industrial Crops & Products**, [S.l.], v. 143, 2020.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de café: Safra 2022 - primeiro levantamento**. Brasília: Conab, 2022. 54 p. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/caf%C3%A9>. Acesso em: 23 jun. 2022.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2012.

DaMATTA, F. M. *et al.* Sustained enhancement of photosynthesis in coffee trees grown under free-air CO₂ enrichment conditions: disentangling the contributions of stomatal, mesophyll, and biochemical limitations. **J. Exp. Bot.**, [S.l.], v. 67, p. 341-52, 2016.

DaMATTA, F.M.; RAMALHO, J.D.C. Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: A review. **Braz. J. Plant Physiol.**, [S.l.], v. 18, p. 55-81, 2006.

DHALIWAL, T. S. Correlations between yield and morphological characters in Puerto Rican and Columnaris varieties of *Coffea arabica* L. **J. Agric. Univ. Puerto Rico, Mayaguez**, v. 5, p. 29-37, 1968.

FERNANDES, A. L. T. *et al.* Associação da adubação orgânica com a irrigação na produção de café no cerrado Mineiro. **Revista Ambiente & Água**, [S.l.], v. 15, n. 5, e2578, 2020.

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

FERRÃO, R.G. *et al.* Genética e melhoramento: desenvolvimento e recomendação de cultivares com tolerância à seca para o Espírito Santo. **Incap em Revista**, Vitória, v. 6/7, n. 4, p. 51-71, 2016.

FERRÃO, R G. *et al.* ‘Diamante ES 8112’, ‘ES 8122 - Jequitibá’ e ‘Centenária ES 8132’: Desempenho Agrônômico de Cultivares de Café Conilon com Diferentes Épocas...novas cultivares clonais de café conilon com qualidade de bebida para o Espírito Santo. *In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL*, 9., 2015, Curitiba. **Anais[...]** Brasília, DF: Embrapa Café, 2015.

FERRÃO, R. G. *et al.* Parâmetros genéticos em café Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [S.l.], v. 43, p. 61-69, 2008.

FERRARI, E., PAZ, A., SILVA, A.C. Déficit hídrico no metabolismo da soja em 838 sementeiras antecipadas no Mato Grosso. *Pesquisas Agrárias e Ambientais*. **Nativa Sinop.**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 67-77, jan./mar. 2015.

FREITAS, Z. M. T. S. D. *et al.* Avaliação de caracteres quantitativos relacionados com o crescimento vegetativo entre cultivares de café arábica de porte baixo. **Bragantia**, [S.l.], v. 66, n. 2, p. 267-275, 2007.

GALLÉ, A.; FELLER, U. Changes of photosynthetic traits in beech saplings (*Fagus sylvatica*) under severe drought stress and during recovery. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 131, n. 3, p. 412-421, 2007.

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

HELLMAN, H. *et al.* Hypersensitivity of an Arabidopsis sugar signaling mutant toward exogenous proline application. **Plant Physiology**, [S.l.], v. 122, n. 2, p. 357-368, 2000.

HU, M. *et al.* Wheat acclimate to water deficit by modifying carbohydrates metabolism, water use efficiency, and growth. **Brazilian Journal of Botany**, [S.l.], v. 38, n. 3, p. 505-515, 2015.

KANECHI, M.; UCHIDA N.U.; YASUDA, T.; YAMAGUCHI, T. Relationships between leaf water potential and photosynthesis of *Coffea arabica* L. grown under various environmental conditions as affected by withholding irrigation and re-irrigation. **Japanese Journal of Tropical Agriculture**, [S.l.], v. 32, n. 1, p. 16-21, 1988.

KOZLOWSKI, T.T. Carbohydrates sources and sinks in wood plants. **The Botanical Review**, New York, v. 58, n. 2, p.107-222, 1992.

KRASENSKY, J.; JONAK, C. Drought, salt, and temperature stress-induced metabolic rearrangements and regulatory networks. **Journal of Experimental Botany**, [S.l.], v. 63, n. 4, p. 1593-1608, 2012.

LIPIEC, J. *et al.* Effect of drought and heat stresses on plant growth and yield: a review. **International Agrophysics**, [S.l.], v. 27, n. 4, p. 463-477, 2013.

LIVRAMENTO, D. E. *et al.* Influência da produção nos níveis de carboidratos e recuperação de cafeeiros após recepagem. **Revista Ceres**, [S.l.], v. 50, n. 292, p.737-752, 2003.

MACHADO, C. M. S. *et al.* Genetic diversity among 16 genotypes of *Coffea arabica* in the Brazilian Cerrado. **Genetics and Molecular Research**, [S.l.], v. 16, n. 3, 2017.

MARQUES, I. *et al.* A transcriptomic approach to understanding the combined impacts of supra-optimal temperatures and CO₂ revealed different responses in the polyploid *Coffea arabica* and its diploid progenitor *C. canephora*. **Int. J. Mol. Sci.**, [S.l.], v. 22, p. 3125, 2021.

MARTINEZ, H. E. P. *et al.* Crescimento vegetativo de cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e sua correlação com a produção em espaçamentos adensados. **Acta Scientiarum. Agronomy**, [S.l.], v. 29, n. 4, p. 481-489, 2007.

MARTINS, E. *et al.* Influência das condições climáticas na produtividade e qualidade do cafeeiro produzido na região do sul de minas gerais. **Coffee Science**, Lavras, v. 10, n. 4, p. 499-506, out./dez. 2015.

MARTINS, S.C.V. *et al.* How do coffee trees deal with severe natural droughts? An analysis of hydraulic, diffusive and biochemical components at the leaf level. **Trees**, [S.l.], v. 33, n. 6, p. 1679-1693, 2019.

MENDIBURU, F. **Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research**. R package version 1.2-0, 2014. Disponível em: <http://www.R-project.org/>. Acesso em: 10 abr. 2021.

MESQUITA, A. C. *et al.* Bactérias diazotróficas no crescimento inicial e alterações bioquímicas de *Vigna unguiculata* sob déficit hídrico. **Research, Society and Development**, [S.l.], v. 9, n. 8, p. e484985641, 2020.

- MORAIS, L. E. *et al.* The effects of pruning at different times on the growth, photosynthesis and yield of conilon coffee (*Coffea canephora*) clones with varying patterns of fruit maturation in southeastern Brazil. **Experimental Agriculture**, [S.l.], v. 48, n. 2, p. 210-221, 2012.
- NASYROV, Y. S. Genetic control of photosynthesis and improving of crop productivity. **Annual Review of Plant Physiology**, [S.l.], v. 29, p. 215 - 237, 1978.
- R CORE TEAM. **R**: A language and environment for statistical computing. **R** Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria. <http://www.R-project.org>. Acesso em: 23 mar. 2021.
- RAMALHO, J.C. *et al.* Cold impact and acclimation response of *Coffea* spp. plants. **Theor. Exp. Plant Physiol.**, [S.l.], v. 26, p. 5-18, 2014.
- ROCHA, O. C. *et al.* **Programa para monitoramento de irrigação do cafeeiro no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2006.
- RODRIGUES, W. P. *et al.* Stomatal and photochemical limitations of photosynthesis in coffee (*Coffea* spp.) plants subjected to elevated temperatures. **Crop and Pasture Science**, [S.l.], v. 69, n. 3, p. 317-325, 2018.
- SANTOS, H. G. *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018.
- SEMEDO, J. N. *et al.* Intrinsic non-stomatal resilience to drought of the photosynthetic apparatus in *Coffea* spp. is strengthened by elevated air [CO₂]. **Tree Physiol.**, [S.l.], v. 41, p. 708-727, 2021.
- SILVA ROLLA, M. B. *et al.* Avaliação de progênies derivadas do Híbrido de Timor com resistência ao agente da ferrugem. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 47-58, 1997.
- SINGH, M. *et al.* Roles of osmoprotectants in improving salinity and drought tolerance in plants: a review. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, [S.l.], v. 14, n. 3, p. 407-426, 2015.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- YEMM, E. W.; WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemical Journal**, [S.l.], v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.
- ZANANDREA, I.; ALVES, J. D.; DEUNER, S.; GOULART, P. F. P.; HENRIQUE, P. de C.; SILVEIRA, N. M. Tolerance of *Sesbania virgata* plants to flooding. **Australian Journal of Botany**, [S.l.], v. 57, n. 8, p. 661-669, 2010.
- ZHOU, H.; ZHOU, G.; HE, Q. ZHOU, L.; JI, Y.; ZHOU, M. Environmental explanation of maize specific leaf area under varying water stress regimes. **Environmental and Experimental Botany**, [S.l.], v. 171, p. 1-10, 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE A – TABELAS

Tabela 1 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), potencial hídrico na antemanhã (MPa) clorofila a (clA), clorofila b (clB), clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2019.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	CIT	Mpa
203	0,54	0,3694	0,0107	1,48	62,66	484,53	827,07	827,07	-1,99
204	0,64	0,4439	0,0132	1,45	57,60	464,67	642,92	642,92	-2,50
207	1,85	0,3963	0,0107	4,76	62,94	484,40	817,80	817,80	-2,62
208	1,56	0,3198	0,0121	5,21	53,30	486,80	867,13	867,13	-2,91
209	1,10	0,2541	0,0068	4,42	58,03	480,40	798,33	798,33	-3,63

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 2 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico na antemanhã (MPa) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, dois dias após o retorno da irrigação (2dARI) em 2019.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	Mpa
203	3,09	1,4692	0,0532	2,09	69,52	-0,17
204	2,51	0,6929	0,0337	3,69	69,04	-0,15
207	4,00	1,5422	0,0602	2,65	67,81	-0,29
208	3,39	1,2786	0,0454	2,92	67,62	-0,22
209	3,68	1,2692	0,0436	3,69	68,24	-0,234

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 3 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB), clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	CIT
203	11,89	2,14	0,0707	5,94	85,20	475,07	299,87	774,95
204	10,57	1,95	0,1016	4,56	87,26	471,33	184,67	656,00
207	10,87	1,54	0,0465	6,56	86,46	487,26	306,49	793,75
208	13,44	2,38	0,0850	5,76	87,74	489,66	354,28	849,22
209	12,77	3,11	0,0955	4,56	80,26	468,33	180,33	648,67

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 4 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2019.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
203	1161,64	1,70	3,12	18,80	292,62	12,96	432,33
204	804,79	1,72	3,68	20,82	260,56	14,68	324,78
207	1184,33	1,62	3,11	21,39	274,67	13,65	357,89
208	1285,40	1,65	3,00	22,74	314,03	14,24	421,22
209	1256,53	1,63	2,94	23,30	259,63	14,19	324,33
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
203	104263,24	174510,26	2636,78	22,22	0,0089	4,52	
204	116436,55	123735,41	2666,41	20,51	0,007	2,66	
207	110068,09	144213,78	2353,9	20,66	0,0088	3,33	
208	135620,51	122441,19	3037,12	20,07	0,0068	3,05	
209	106470,03	119397,19	2732,6	22,14	0,0075	4,08	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 5 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
203	974,63	1,62	3,61	24,28	238,2	13,38	376,55
204	631,93	1,62	3,35	22,85	212,44	15,32	336,89
207	704,13	1,68	3,57	23,68	231,09	14,98	294,89
208	939,27	1,68	3,87	23,63	257,07	15,07	323,67
209	691,75	1,69	3,54	29,39	231,15	16,8	292,45
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
203	83934,64	126914,58	3178,67	21,03	0,0067	3,56	
204	64373,97	83585,56	3086,16	20,6	0,0062	3,39	
207	64177,09	83585,82	3543,75	18,33	0,0052	3,26	
208	94767,62	82459,29	3724,80	19,59	0,0048	1,99	
209	60343,71	86017,23	3760,13	21,72	0,0059	5,04	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 6 - Valores médios de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), catalase (CAT- $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg}^{-1}\text{MF}$), dismutase do superóxido (SOD-U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$) e ascorbato (AsA- $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

Clones	H_2O_2	MDA	SOD	CAT	APX	AsA
FPSI-19						
203	351,60	1060,51	0,74	1,23	4,68	4,67
204	378,77	1134,36	0,77	0,75	4,39	7,18
207	587,29	1277,61	0,75	1,16	5,25	6,83
208	371,50	1150,00	0,78	0,23	3,95	3,94
209	360,68	1141,28	0,76	1,53	2,58	4,57
3Mari-19						
203	165,10	529,68	0,72	1,00	1,22	4,21
204	200,69	726,60	0,71	1,29	1,17	5,90
207	143,81	719,48	0,73	0,91	2,09	4,02
208	161,21	868,59	0,73	1,86	2,40	3,79
209	197,48	978,52	0,72	1,78	1,43	4,88

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 7 - Valores médios de conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (cIA), clorofila b (cIB), clorofila total (cIT) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2020.

Clones	CRA	cIA	cIB	CIT
203	66,10	373,55	147,68	526,46
204	64,64	369,84	137,40	498,53
207	61,47	370,43	153,87	515,85
208	72,77	421,75	221,58	648,56
209	74,39	392,04	149,00	525,87

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 8 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB), clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, dois dias após o retorno da irrigação (2dARI) em 2020.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	CIT
203	11,43	4,53	0,1233	2,22	77,76	353,85	134,84	488,70
204	3,56	2,19	0,0800	2,74	78,44	348,47	122,40	470,87
207	6,27	3,43	0,0767	3,03	85,24	337,30	115,89	453,19
208	10,31	4,53	0,1433	1,96	81,87	413,87	201,53	615,40
209	3,50	1,93	0,0600	2,01	92,75	338,85	123,76	462,61

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 9 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB), clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2020.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	CIT
203	7,07	5,68	0,41	1,23	79,20	459,53	208,47	668,00
204	8,33	6,01	0,62	3,60	83,04	447,6	146,2	593,8
207	11,61	6,87	0,65	2,04	84,41	455,8	170,87	626,67
208	7,32	4,57	0,30	1,98	77,00	469,53	236,23	702,59
209	10,75	5,74	0,27	1,59	74,63	456,73	149,33	606,07

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 10 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2020.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
203	987,34	1,50	3,60	21,38	259,97	16,83	444,22
204	907,59	1,51	4,40	29,43	246,53	18,19	236,56
207	818,2	1,56	4,01	25,70	229,36	18,06	350,89
208	800,32	1,47	3,72	27,80	215,40	17,24	274,78
209	862,21	1,54	4,44	29,87	252,41	18,36	288,56
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
203	117269,94	260560,08	1706,29	22,00	0,0091	2,00	
204	87795,68	136250,22	1761,64	21,29	0,0122	1,97	
207	91545,75	210069,26	1701,47	23,35	0,0122	3,94	
208	82973,71	125310,28	2196,12	19,84	0,0129	1,72	
209	95433,86	164187,44	1758,00	23,37	0,0134	3,31	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 11 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm²), área do xilema (AX - μm²), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - μm⁴ 10⁶) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2020.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
203	969,24	1,62	3,54	25,46	198,82	16,81	318,67
204	641,00	1,63	4,04	29,11	221,00	18,29	253,33
207	713,20	1,68	3,65	25,97	203,22	18,97	246,44
208	948,34	1,68	3,94	23,41	239,33	17,94	280,56
209	745,32	1,69	3,6	28,45	218,35	18,66	249,56
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
203	103924,61	152799,64	1894,33	28,84	0,0158	10,33	
204	65314,58	108512,83	2473,43	20,34	0,0083	2,52	
207	92724,26	144294,95	1704,46	26,47	0,0156	5,25	
208	91410,78	116406,4	2436,02	18,84	0,0078	2,01	
209	48644,49	104206,78	2105,92	24,01	0,0100	4,31	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 12 - Valores médios de peróxido de hidrogênio (H₂O₂ - μmol H₂O₂ mg⁻¹MF), malondialdeído (MDA - μmol MDA mg⁻¹MF), catalase (CAT- μmol H₂O min⁻¹mg-1MF), dismutase do superóxido (SOD-U SOD mg⁻¹ MF), peroxidase do ascorbato (APX - μM H₂O₂ min⁻¹ mg⁻¹ MF) e ascorbato (AsA- μmol AsA mg⁻¹MF) de diferentes clones da cultivar Jequitibá ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

FPSI-19						
Clones	H ₂ O ₂	MDA	SOD	CAT	APX	AsA
203	488,45	819,96	0,7	0,78	4,92	5,83
204	252,81	760,32	0,72	1,18	3,62	4,68
207	305,99	885,29	0,73	1,13	2,40	4,32
208	473,87	1037,27	0,74	1,4	2,11	5,40
209	518,05	925,34	0,71	1,29	2,25	7,80
3mARI-19						
203	715,77	722,46	1,03	1,61	2,89	2,11
204	830,65	1127,05	1,05	3,31	3,05	2,90
207	856,24	1233,46	1,07	1,85	4,31	4,13
208	542,45	1234,77	1,10	1,22	3,28	3,34
209	717,76	1311,28	1,09	0,65	3,50	3,31

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 13 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), potencial hídrico na antemanhã (MPa) clorofila a (clA), clorofila b (clB), clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2019.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	clT	MPa
301	1,41	0,5567	0,0136	2,51	67,9	448,48	302,95	749,76	-1,51
302	1,67	0,2767	0,0069	6,14	50,81	456,97	328,89	785,96	-3,11
305	0,94	0,4133	0,0089	2,32	48,30	450,20	294,6	744,80	-3,62
306	0,89	0,3533	0,0085	2,57	50,18	437,80	257,07	730,66	-3,48
308	1,49	0,2500	0,0059	6,27	66,44	456,86	319,44	776,30	-1,22
309	1,17	0,4200	0,0110	2,91	44,26	437,47	271,24	708,71	-3,93

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 14 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA) e potencial hídrico na antemanhã (MPa) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, dois dias após o retorno da irrigação (2dARI) em 2019.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	MPa
301	2,71	1,2200	0,0311	2,16	65,45	-0,23
302	3,76	1,4533	0,0431	2,18	68,00	-0,24
305	3,36	1,3233	0,0466	2,24	68,66	-0,22
306	2,09	0,9566	0,0337	2,30	66,01	-0,26
308	3,37	1,5567	0,0481	2,53	67,76	-0,24
309	3,03	1,3233	0,0369	2,58	66,33	-0,21

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 15 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB) e clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	clT
301	12,62	3,0667	0,0386	5,69	82,58	448,62	147,97	596,59
302	11,20	1,9533	0,0646	4,96	85,31	471,81	185,53	657,34
305	10,86	3,8433	0,1471	3,09	84,71	447,31	146,03	593,34
306	10,07	3,05	0,1381	3,9	89,32	477,26	235,49	712,75
308	10,98	2,5867	0,0701	4,49	82,55	436,57	120,37	556,95
309	13,44	3,5533	0,1258	3,67	84,21	463,16	181,76	644,81

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 16 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2019.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
301	1159,23	1,71	3,5	25,37	290,74	13,95	349,34
302	1117,61	1,68	3,24	15,72	232,64	11,73	350
305	1109,36	1,51	3,53	24,85	231,43	17,45	278,44
306	1188,45	1,56	3,6	19,48	239,54	13,37	346,56
308	973,94	1,61	2,86	19,77	238,35	13,93	306,44
309	1004,57	1,69	3,35	17,78	230,78	13,11	274,67
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
301	114125,29	155947,91	2262,07	23,08	0,0121	3,00	
302	119009,36	186060,17	2358,57	22,19	0,0118	5,33	
305	82583,95	145780,69	2366,31	18,82	0,0123	2,12	
306	104222,98	115842,66	2586,11	21,17	0,0133	3,01	
308	92844,25	111458,55	2751,98	21,05	0,0109	3,25	
309	86653,91	121508,14	2722,91	20,61	0,0089	3,05	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 17 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
301	1094,32	1,68	3,91	27,5	232,72	15,6	280,89
302	789,32	1,74	3,56	22,76	192,14	13,83	226,22
305	695,87	1,71	4,03	24,12	234,72	16,47	252,83
306	714,73	1,61	3,76	22,35	218,24	12,44	222,89
308	672,71	1,69	3,89	24,24	216,87	14,26	202,78
309	646,31	1,63	3,31	24,12	242,64	14,58	221,22
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
301	67043,49	88945,82	3176,8	20,36	0,0154	4,83	
302	57555,07	73948	2566,84	20,3	0,0145	4,08	
305	60060,8	88019,38	2880,31	16,18	0,0109	3,65	
306	62527,74	80212,99	2338,67	19,19	0,0132	3,65	
308	70221,38	83889,19	2137,81	18,94	0,0117	3,44	
309	70633,31	72287,7	3599,52	16,45	0,0088	3,00	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 18 - Valores médios de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), catalase (CAT- $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg-1MF}$), dismutase do superóxido (SOD-U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$) e ascorbato (AsA- $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2019.

	H_2O_2	MDA	SOD	CAT	APX	AsA
Clones	FPSI					
301	354,78	1466,67	0,77	1,44	2,44	5,67
302	615,26	1762,35	0,76	1,64	2,51	5,86
305	636,18	1488,85	0,77	1,52	2,73	8,87
306	653,39	1634,06	0,74	2,19	3,02	6,86
308	348,24	1574,10	0,76	2,01	1,51	6,13
309	411,24	817,95	0,69	2,15	2,10	4,15
	3mARI					
301	236,08	913,02	0,72	1,96	1,68	4,81
302	139,25	876,35	0,75	2,81	2,40	4,64
305	217,80	829,87	0,74	1,80	3,73	5,19
306	255,53	1020,51	0,75	1,95	2,15	6,41
308	232,59	1134,87	0,76	2,36	2,59	5,18
309	165,30	626,35	0,74	2,21	1,24	4,11

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 19 - Valores médios conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB) e clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, no final do período de suspensão hídrica (FPSI) em 2020.

Clones	CRA	clA	clB	CIT
301	72,39	408,08	236,33	610,85
302	46,48	369,95	156,08	531,26
305	55,57	414,74	237,27	643,55
306	49,57	341,04	126,07	458,65
308	63,54	361,85	152,53	513,33
309	44,56	375,80	161,27	537,07

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 20 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB) e clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, dois dias após o retorno da irrigação (2dARI) em 2020.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	CIT
301	8,19	3,29	0,1024	2,14	66,12	412,95	209,64	622,6
302	3,80	2,14	0,0312	2,5	68,80	379,13	147,33	526,47
305	8,06	4,05	0,1196	2,82	62,91	402,47	182,67	585,13
306	5,22	3,11	0,0883	1,7	67,44	325,07	107,2	432,27
308	9,62	3,78	0,1119	2,5	72,97	372,4	140,93	513,33
309	8,99	3,6	0,1186	2,37	72,14	359,3	142,29	501,59

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 21 - Valores médios de taxa fotossintética líquida (A - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E - $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática (gs - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência instantânea do uso da água (WUE - $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), conteúdo relativo de água (CRA), clorofila a (clA), clorofila b (clB) e clorofila total (clT) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2020.

Clones	A	E	gs	WUE	CRA	clA	clB	CIT
301	5,97	5,42	0,2597	1,09	84,73	458,4	193,13	651,53
302	3,43	7,28	0,6281	2,44	89,62	458,8	163,67	622,47
305	9,46	7,67	0,3971	1,2	85,16	465,53	197,27	662,8
306	13,6	6,47	0,4569	1,65	79,82	426,93	108,93	535,87
308	7,63	6,25	0,278	1,88	79,92	453,2	146,53	599,73
309	7,44	5,84	0,2956	1,09	75,68	434,33	105,47	539,8

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 22 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) em 2020.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
301	1182,61	1,65	4,14	25,24	239,94	16,38	281,33
302	1181,24	1,51	4,4	18,68	183,66	13,89	368
305	1010,72	1,53	4,01	18,32	213,53	14,67	326,44
306	999,72	1,55	4,31	21,18	240,47	16	316,66
308	911,71	1,63	3,71	24,58	185,51	16,71	250,11
309	913,09	1,5	3,68	22,21	221,34	15,34	358,78
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
301	84681,13	146777,2	1930,58	23,06	0,0121	3,00	
302	98781,08	174128,17	2124,27	24,99	0,0118	5,33	
305	101408,73	160501,46	2083,02	21,69	0,0123	2,12	
306	115464,22	179187,47	1769,98	23,37	0,0133	3,01	
308	86007,44	126527,41	2024,52	21,7	0,0109	3,25	
309	93028,42	145464,93	2459,61	21,81	0,0089	3,05	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 23 - Valores médios de densidade estomática (DEN - número de estômatos/mm²), funcionalidade estomática (DP/DE), epiderme da face adaxial (EDA), epiderme da face abaxial (EAB), limbo foliar (LIM - μm), espessura da cutícula da face adaxial (CUT - μm), área do floema (AF - μm^2), área do xilema (AX - μm^2), número de vasos xilema (NVX), frequência de vasos xilema (FVX), diâmetro do vaso xilema (DV - μm) índice de vulnerabilidade do xilema (IVX) e condutividade hidráulica relativa do xilema (CHR - $\mu\text{m}^4 10^6$) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8132, três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2020.

Clones	DEN	DP/DE	CUT	EAD	LIM	EAB	NVX
301	1088,88	1,68	3,81	24,51	211,39	17,35	292,45
302	789,32	1,74	3,41	24,75	166,03	17,6	273,78
305	704,95	1,71	3,78	24,38	217,38	18,03	266,22
306	709,34	1,61	4,36	26,92	218,13	19,2	218,45
308	669,03	1,69	3,69	24,31	218,96	18,52	273,55
309	646,31	1,63	3,83	27,24	199,05	18,94	274,89
	AF	AX	FVX	DV	IVX	CHR	
301	62498,1	132191,15	1856,2	25,44	0,0154	4,83	
302	79147,15	162577,59	1973,63	25,89	0,0145	4,08	
305	90700,52	125573,18	2139,09	22,85	0,0109	3,65	
306	67297,55	132506,31	1817,55	23,69	0,0132	3,65	
308	65009,63	118457,24	2033,85	23,51	0,0117	3,44	
309	71009,37	111194,18	2483,98	21,47	0,0088	3,00	

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 24 - Valores médios de peróxido de hidrogênio (H_2O_2 - $\mu\text{mol H}_2\text{O}_2 \text{ mg}^{-1}\text{MF}$), malondialdeído (MDA - $\mu\text{mol MDA mg}^{-1}\text{MF}$), catalase (CAT- $\mu\text{mol H}_2\text{O min}^{-1}\text{mg-1MF}$), dismutase do superóxido (SOD-U SOD $\text{mg}^{-1} \text{MF}$), peroxidase do ascorbato (APX - $\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{mg}^{-1} \text{MF}$) e ascorbato (AsA- $\mu\text{mol AsA mg}^{-1}\text{MF}$) de diferentes clones da cultivar Centenária ES8122, no final do período de suspensão da irrigação (FPSI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI) em 2020.

	H_2O_2	MDA	SOD	CAT	APX	AsA
Clones	FPSI					
301	347,70	877,63	0,70	1,96	1,37	5,22
302	651,85	904,36	0,76	2,81	2,74	5,38
305	668,14	1042,18	0,79	1,80	2,51	9,66
306	543,88	868,61	0,79	1,95	4,28	5,14
308	607,71	1047,18	0,81	2,36	4,44	6,06
309	311,39	833,21	0,79	2,21	3,70	6,42
	3mARI					
301	506,57	994,74	1,07	3,69	2,48	3,09
302	496,36	1119,72	1,08	1,12	2,26	4,79
305	367,48	1065,77	1,09	1,15	2,81	5,39
306	523,54	1055,90	1,06	1,26	3,20	3,06
308	427,81	1080,38	1,06	1,34	1,03	3,18
309	633,46	858,18	0,90	4,05	1,15	2,17

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 25 - Características utilizadas para seleção dos clones avaliados no presente trabalho. Valores médios de produtividade (sc.ha^{-1}) em 2018 e potencial hídrico na antemanhã (MPa), no final do período de suspensão hídrica (FPSI) e dois dias após o retono da irrigação (2dARI) dos nove clones da cultivar Jequitibá ES8122 em 2019.

Clones	Produtividade	MPa FPSI	MPa 2dARI
301	119,62	-1,51	0,23
302	150,35	-3,11	0,24
303	137,49	-3,38	0,21
304	103,15	-2,34	0,23
305	103,37	-3,62	0,22
306	115,62	-3,48	0,26
307	112,68	-2,97	0,23
308	93,08	-1,22	0,24
309	89,84	-3,93	0,21

Fonte: Da autora (2022).

Tabela 26 - Características utilizadas para seleção dos clones avaliados no presente trabalho. Valores médios de produtividade (sc.ha^{-1}) em 2018 e potencial hídrico na antemanhã (MPa), no final do período de suspensão hídrica (FPSI) e dois dias após o retono da irrigação (2dARI) dos nove clones da cultivar Centenária ES8132 em 219.

Clones	Produtividade	MPa FPSI	MPa 2dARI
201	135,05	-2,91	0,27
202	124,81	-3,40	0,18
203	138,77	-1,99	0,17
204	106,44	-2,62	0,15
205	111,10	-2,81	0,29
206	102,11	-3,31	0,19
207	137,79	-2,91	0,29
208	117,34	-3,63	0,22
209	75,13	-2,50	0,24

Fonte: Da autora (2022).