



NAGLA MARIA SAMPAIO DE MATOS

ANATOMIA E FISIOLOGIA DE CLONES DE
***Coffea canephora* EM CONDIÇÕES DE**
CERRADO

LAVRAS - MG

2016

NAGLA MARIA SAMPAIO DE MATOS

**ANATOMIA E FISIOLOGIA DE CLONES DE *Coffea canephora* EM
CONDIÇÕES DE CERRADO**

Dissertação 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 Mestre.

Prof. Dr. Rubens José Guimarães

Orientador

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho

Dra. Isabel Rodrigues Brandão

Dra. Tamara Cubiaki Pires da Gama

Coorientadores

LAVRAS - MG

2016

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

Matos, Nagla Maria Sampaio de.

Anatomia e fisiologia de clones de *Coffea canephora* em
condições de cerrado / Nagla Maria Sampaio de Matos . – Lavras :
UFLA, 2016.

55 p. : il.

Dissertação(mestrado acadêmico)–Universidade Federal de
Lavras, 2016.

Orientador: Rubens José Guimarães.

Bibliografia.

1. Café. 2. Anatomia. 3. Fisiologia. I. Universidade Federal de
Lavras. II. Título.

NAGLA MARIA SAMPAIO DE MATOS

**ANATOMIA E FISIOLOGIA DE CLONES DE *Coffea canephora* EM
CONDIÇÕES DE CERRADO**

Dissertação 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 Mestre.

APROVADA em 28 de março de 2016.

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes	UFLA
Profª. Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho	EMBRAPA CAFÉ
Profª. Dra. Vanessa Cristina Stein	UFSJ

Prof. Dr. Rubens José Guimarães
Orientador

LAVRAS - MG

2016

Aos meus pais Luiz Sampaio Filho e
Maria Eunice Pereira de Matos.

Às minhas irmãs Nayara, Natália e
Nayane.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sempre me guiar pelo caminho certo, pelas graças concedidas, pela proteção em todos os momentos e possibilitar a realização desse sonho.

À minha família, pelo amor incondicional, e por sempre estarem presentes.

Ao meu orientador, professor Rubens, pelos ensinamentos e sempre estar disposto a ajudar e, principalmente, pela orientação neste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras, ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realizar o Mestrado.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), pela disponibilização de sua estrutura para realização do presente trabalho.

À pesquisadora da EMBRAPA CAFÉ Dra. Milene e Pós-Doutoranda Isabel Brandão, pelo constante apoio em todos os momentos, principalmente para a realização desse trabalho, ensinamentos que me trouxeram crescimento pessoal e profissional.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos;

Às amigas e colegas de trabalho do Laboratório de Anatomia e fisiologia do cafeeiro da INOVACAFÉ, pois sem elas eu não conseguiria realizar este trabalho.

Às amigas Érica, Tamara, Tainah, Mariana, Priscila pelo apoio, companheirismo e conselhos, e ao amigo Clayton por toda força e por sempre acreditar em mim.

Obrigada.

RESUMO

O estresse hídrico é um dos fatores abióticos que mais prejudicam o desenvolvimento e produtividade do cafeeiro no Brasil. Objetivou-se, com o presente estudo, identificar características anatômicas e fisiológicas em clones de *Coffea canephora* que possam ser utilizadas na pré-seleção de plantas no melhoramento genético para tolerância à seca, bem como identificar, entre os clones estudados, aqueles que agrupam a maioria dessas características. Para a realização do presente trabalho, foram utilizados 7 clones (1, 3, 7, 8, 11, 12 e 13) de *C. canephora*, com 3 anos de idade. As plantas passaram por um período de suspensão da irrigação de, aproximadamente, 60 dias, no ano de 2015, para uniformização da florada. No final desse período, dois dias e três meses após o retorno da irrigação foram realizadas avaliações fisiológicas e anatômicas. Os resultados permitiram afirmar que as plantas submetidas a um período de suspensão da irrigação, em condições de cerrado, acionaram mecanismos de adaptação e/ou sobrevivência, frente ao ambiente a que foram expostas. As potenciais características a serem utilizadas na pré-seleção de plantas de cafeeiro no melhoramento genético são: espessura da cutícula, da epiderme adaxial, do floema e do parênquima paliçádico, bem como o potencial hídrico, a eficiência do uso da água e o índice de área foliar. Os clones de número 1, 12 e 13 reúnem a maioria das características relacionadas à tolerância à seca, entre os sete estudados.

Palavras-chave: Estresse hídrico. Suspensão da irrigação. Cafeeiro Robusta. Estrutura interna foliar. Características fisiológicas. Melhoramento do cafeeiro.

ABSTRACT

Hydric stress is one of the abiotic factors that most hinder the development and productivity of coffee in Brazil. Therefore, we aimed with the present study to identify anatomic and physiological characteristics in clones of *Coffea canephora* that can be used in the pre-selection of plants for genetic breeding for tolerance to draught. We also sought to identify, among the studied clones, those that group most of these characteristics. To conduct this study, we used seven clones of *Coffea canephora* (1, 3, 7, 8, 11, 12 and 13) with three years of age. The plants underwent suspension of irrigation for a period of 60 days in 2015, for standardization of the flowering. At the end of this period, two days and three months after the return of irrigation, we conducted physiological and anatomic evaluations. The results allowed us to infer that the plants subjected to suspension of irrigation, under cerrado conditions, activated adaptation and/or survival mechanisms because of the environment to which they were exposed. The potential characteristics to be used in the pre-selection of coffee plants for genetic breeding were: cuticle, adaxial epidermis, phloem and palisade parenchyma thickness, as well as hydric behavior, water use efficiency and leaf area index. The clones of number 1, 12 and 13 presented most characteristics related to tolerance for drought between those studies.

Keywords: Hydric stress. Suspension of irrigation. Robust coffee. Leaf inner structure. Physiological characteristics. Coffee breeding.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Dados de temperatura (°C), máxima e mínima, umidade relativa do ar (%), máxima e mínima, radiação (MJ m⁻²) e precipitação (mm) durante o período de deficiência hídrica imposta nas plantas de *Coffea canephora* var. Robusta de 30 de junho a 1º de setembro de 2015.....22
- Figura 2 - Dados médios de temperatura (°C), máxima e mínima, umidade relativa do ar (%), máxima e mínima, radiação (MJ m⁻²) e precipitação (mm) durante o ano de 2015 na área experimental.23
- Figura 3 - Efeito do estresse causado pela suspensão da irrigação durante aproximadamente 60 dias em clones de *Coffea canephora* var. Robusta com três anos de implantação.....34
- Figura 4 - Recuperação dos Clones de *Coffea canephora* var. Robusta, e três meses do retorno da irrigação.35

APÊNDICE A

- Figura 1 - Fotomicrografias dos tecidos foliares de sete clones de *Coffea canephora* implantados na Embrapa Cerrados avaliados em duas épocas, final da suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação, em Planaltina- DF. Barra50µm.49
- Figura 2 - Fotomicrografias dos feixes vasculares de folhas de sete clones de *Coffea canephora* implantados na Embrapa Cerrados avaliados em duas épocas, final da suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação, em Planaltina- DF. Barra50µm.....50
- Figura 3 - Fotomicrografias de secções paradérmicas de folhas de sete clones de *Coffea canephora* implantados na Embrapa Cerrados

avaliados em duas épocas, final da suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação, em Planaltina- DF.

Barra50µm.....51

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Valores médios das características anatômicas foliares (μm) avaliadas no final do período de suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação em clones de *Coffea canephora*. Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.....29
- Tabela 2 - Valores médios das características fisiológicas avaliadas, condutância estomática porômetro ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), potencial hídrico (Mpa), Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.30
- Tabela 3 - Valores médios das características fisiológicas avaliadas, condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) eficiência do uso da água, fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice de área foliar. Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Cultura do café no Brasil	15
2.2	Irrigação e uniformização da florada em cafeeiro	16
2.3	Anatomia e fisiologia vegetal	18
3	MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1	Características avaliadas	24
3.1.1	Características anatômicas	24
3.1.2	Características fisiológicas	25
4	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
5	RESULTADOS	28
6	DISCUSSÃO	36
7	CONCLUSÕES	43
	REFERÊNCIAS	44
	APÊNDICE A - Fotomicrografias	49

1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura é uma das atividades mais importantes para a economia brasileira (BRASIL, 2015), sendo o país o maior produtor, exportador e o segundo consumidor mundial (CARVALHO et al., 2015; INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION - ICO, 2015). Na safra de 2014, foram colhidas mais de 45,6 milhões de sacas beneficiadas, sendo 32,6 milhões de café arábica e 13,0 milhões de Robusta (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

Dentre as espécies cultivadas no Brasil, o *Coffea arabica* L. corresponde a 87% da produção no país e o restante o *C. canephora*. O café Robusta em produção mundial corresponde a 30% e é utilizada em “blends”, aumentando o teor de cafeína e proporcionando mais “corpo” à bebida (BELING et al., 2005).

O cerrado brasileiro participa com aproximadamente 40% da produção de cafés do país, com grande potencial de aumento de produtividade e qualidade do produto final, visando maior sustentabilidade ao setor cafeeiro nessa região (GUERRA et al., 2007).

Estudos realizados com *Coffea canephora* afirmaram que existem variações entre os clones estudados, sendo que maior tolerância à seca foi observada quando os mesmos foram submetidos a déficit hídrico severo. Características fisiológicas avaliadas em alguns trabalhos como eficiência do uso da água, potencial hídrico, condutância estomática, trocas gasosas, são parâmetros favoráveis para uma pré-seleção de plantas no melhoramento genético (DAMATTA; RENA, 2001; LIMA et al., 2002; PINHEIRO et al., 2005).

Pesquisas realizadas na Embrapa Cerrados, Planaltina-DF, visam desenvolver uma estratégia de manejo da irrigação, para uniformização da florada. Para isso, na época seca do ano, plantas de café são submetidas a um período de suspensão da irrigação por, aproximadamente, 60 dias e após o

retorno da irrigação ocorre a quebra da dormência dos botões florais, ocasionando sincronização da floração e, conseqüentemente, maior produtividade e qualidade do produto final (GUERRA; ROCHA; RODRIGUES, 2005). Modificações anatômicas e fisiológicas podem ocorrer durante o período de suspensão da irrigação em função da deficiência hídrica imposta nesse período. Análises dessas modificações de forma conjunta podem proporcionar uma discriminação das plantas estudadas, visando uma tolerância diferencial à seca (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008). Dessa forma, estudos envolvendo análises dessas modificações podem possibilitar economia de tempo no lançamento de novas cultivares, no programa de melhoramento genético do cafeeiro (BATISTA et al., 2010).

A redução da transpiração via fechamento estomático eficiente ou pela cutícula pode reduzir significativamente a perda de água pela planta, mantendo sua turgência e proporcionando maior desenvolvimento frente a um estresse, mecanismo importante como tolerância à seca (DAMATTA et al., 2003; PINHEIRO et al., 2005). Algumas características anatômicas e fisiológicas são importantes para tolerância à seca, tais como: espessura de vasos de xilema, espessura da epiderme, espessura do floema, potencial hídrico e trocas gasosas.

Objetivou-se com o presente estudo identificar características anatômicas e fisiológicas em clones de *Coffea canephora* que possam ser utilizadas na pré-seleção de plantas no melhoramento genético para tolerância à seca, bem como identificar, entre os clones estudados, aqueles que agrupem a maioria dessas características.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do café no Brasil

A produção de café no Brasil e no mundo concentrava-se apenas na espécie *Coffea arábica*. Entretanto, a partir do fim do século XIX, devido a um grande surto de ferrugem que afetou cafezais do sul e leste da Ásia, a espécie *Coffea canephora*, que se mostrava resistente à doença, passou a ser alvo de estudos científicos, visando obtenção de plantas resistentes e com potencial produtivo (MCCOOK, 2008).

O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de café e na safra 2014, colheu mais de 45,6 milhões de sacas beneficiadas, sendo 32,6 milhões de café arábica e 13,0 milhões de Robusta (CARVALHO et al., 2015; CONAB, 2016). Dentre os estados produtores de café, Minas Gerais responde por mais de 50% da produção nacional, predominando o cultivo de arábica. O Espírito Santo, segundo maior estado produtor, cultiva predominantemente o *C. Canephora* e produz quase 80% da safra brasileira desta espécie (CONAB, 2016). Além disso, o Brasil é o segundo maior consumidor de café do mundo, perdendo apenas para os Estados Unidos da América (ICO, 2015).

Dentro da espécie *Coffea canephora*, as variedades mais utilizadas no Brasil são Conilon e Robusta, pelo seu volume de produção e valor industrial. Essas variedades são utilizadas em *blends*, pois possuem o dobro de cafeína, 2% a mais em relação ao café arábica, balanceando sua acidez e conferindo corpo ao produto final (BELING et al., 2005). O Espírito Santo é o maior produtor dessa espécie, mas no ano de 2015 houve queda na produção de, aproximadamente, 19% em relação à safra anterior, isso devido à seca ocasionada na época da floração, e na formação do grão (CARVALHO et al., 2015).

De acordo com o quarto levantamento da CONAB (2016), realizado em dezembro de 2015, que compreende o período pós-colheita, a produção foi

estimada em 43,24 milhões sacas beneficiadas de café. Isso corresponde a uma queda de aproximadamente 5,3%, quando comparado com a produção contabilizada no ano anterior. O principal fator da queda observada foi em função da restrição hídrica que atingiu as principais regiões produtoras de café do País. Já para o estado de Goiás, onde a cultura é, na maioria das vezes, conduzida sob regime de irrigação, a queda observada pode ter sido resultado das altas temperaturas.

2.2 Irrigação e uniformização da florada em cafeeiro

Têm sido observadas constantes alterações climáticas nos últimos anos, sendo prioritário nos programas de melhoramento genético o desenvolvimento de variedades tolerantes a alguns fatores abióticos, tais como deficiência hídrica, incidência de radiação e altas temperaturas, uma vez que podem ser ruins as perspectivas de produção de café num futuro próximo, considerando alterações em relação esses fatores abióticos (DAMATTA, 2004).

O uso do manejo da irrigação para produção mundial de alimentos tem sido uma estratégia importante, visando minimizar os impactos causados pela deficiência hídrica em alguns locais com potencial produtivo, podendo gerar desenvolvimento sustentável no campo (FERRÃO et al., 2007), pois a produção é fortemente afetada pelo suprimento de água (COELHO et al., 2009).

Com a estratégia da utilização do manejo irrigado, a distribuição geográfica do cultivo de café no Brasil foi redesenhada, existindo aproximadamente 200.000,00 ha irrigados. Os estados do Espírito Santo, Minas Gerais, Bahia e Rondônia são os responsáveis por esse aumento, pois áreas que antes não eram recomendadas ao cultivo agora possuem alto potencial de desenvolvimento e sustentabilidade para a produção de café (MANTOVANI, 2001; VICENTE, 2005).

Estudos realizados por Guerra et al. (2007), com *Coffea canephora* em condições de cerrado (Bahia, Rondônia e Distrito Federal), onde utiliza-se um manejo irrigado, indicam que a utilização da suspensão da irrigação antes da florada pode uniformizar a produção, obtendo-se assim mais frutos cereja na colheita. A suspensão da irrigação por períodos de 60 a 70 dias, nos meses de julho e agosto, foi benéfica para uniformização da florada em três regiões do estado de São Paulo e no cerrado (GUERRA; ROCHA; RODRIGUES, 2005; SILVA et al., 2009).

O sistema de interrupção da irrigação para uniformização da florada, em trabalho realizado na cidade de São Matheus-ES, com *Coffea canephora*, possibilitou a conclusão de que o período de 60 dias proporcionou maiores porcentagens de frutos maduros, nos clones estudados (SOUZA et al., 2014). Essas informações de controle de déficit hídrico podem viabilizar o uso eficiente da água para o aumento da produtividade e qualidade do produto, desenvolvendo práticas que auxiliem o agricultor nesse planejamento (GUERRA et al., 2007).

A espécie *Coffea canephora* demonstra maior tolerância à seca, o que foi observado em estudos com clones dessa espécie sob condições de déficit hídrico, resultando assim na seleção de plantas para um melhoramento genético, visando tolerância ao estresse hídrico (DAMATTA; RENA, 2001; LIMA et al., 2002; PINHEIRO et al., 2004).

Estudo utilizando clones de *C. canephora* sensíveis e tolerantes à seca, demonstrou que plantas mais tolerantes obtiveram maior rendimento produtivo, maior área foliar, maior potencial hídrico e menor condutância estomática (DAMATTA et al., 2003; PINHEIRO et al., 2005; SILVA et al., 2010).

Variedades comerciais de *C. canephora* como Vitória e Robustão Capixaba são recomendadas em regiões onde a precipitação é limitada, sendo então consideradas tolerantes à seca (FERRÃO et al., 2007; SILVA et al., 2013).

2.3 Anatomia e fisiologia vegetal

Os trabalhos realizados com anatomia das folhas de cafeeiros tiveram início na década de 50 (DEDECCA, 1957), havendo uma longa pausa de pesquisas relacionadas a esse tema, por isso são poucas as informações encontradas na literatura, inclusive ligando características anatômicas e fisiológicas do cafeeiro, de ambas as espécies *arabica* e *canephora*.

As variações na estrutura das folhas estão, na maioria das vezes, relacionadas com o hábitat, que representa uma resposta importante na plasticidade das plantas, ou seja, capacidade de alterar a sua morfologia ou fisiologia de acordo com o ambiente exposto (DIAS et al., 2005). Assim, modificações nas estruturas das folhas ou na planta inteira, tais como espessura do limbo, vasos condutores, dimensões estomáticas (NASCIMENTO et al., 2006; PINHEIRO et al., 2005) indicam que o maior desenvolvimento dessas estruturas pode favorecer a planta a sobreviver em diversas condições (VOLTAN et al., 2014).

Em pesquisa comparando-se cultivares (Siriema e Catuaí) de *Coffea arabica* em condições de suspensão da irrigação, maiores diâmetros polar e equatorial dos estômatos, conseqüentemente maior funcionalidade e maior densidade estomática, foram observados em ambas as cultivares, indicando assim maior adaptabilidade dessas plantas, o que pode influenciar favoravelmente na adaptabilidade dessas plantas (GRISI et al., 2008).

Em trabalhos realizados com cultivares de café, Batista et al. (2010) indicaram que o uso das características estruturais associadas com a fisiologia, poderiam ser uma importante tecnologia no melhoramento para a busca de característica de tolerância à seca.

Algumas características anatômicas podem ser destacadas como promissoras em pré-melhoramento, como o diâmetro e o número de vasos condutores, uma vez que os fotoassimilados utilizados para desenvolvimento da

planta são transportados via floema, e a água e sais minerais necessários para realização da fotossíntese é via xilema (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

Analisando-se a anatomia foliar durante os períodos de seca e chuva, a espécie arábica apresentou maiores espessamentos da cutícula e epiderme adaxial no período seco, indicando maior adaptabilidade em condições de restrição hídrica (CASTANHEIRA, 2015). Alterações também são observadas quando a planta de café é submetida à alta incidência de radiação, tais como espessura do limbo, densidade estomática, além da redução do tamanho dos estômatos (BALIZA et al., 2012).

O aumento da espessura do parênquima esponjoso foi observado com uso de polímero hidrorretentor em cafeeiros (teriam a função de manter as plantas hidratadas por maior tempo) (OLIVEIRA et al., 2014), sendo que esse aumento de espessura favorece as trocas gasosas (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009).

A deficiência hídrica pode afetar processos-chave do metabolismo da planta, como a fotossíntese, metabolismo dos carboidratos na folha, bem como a expressão gênica (PINHEIRO; CHAVES, 2011), acarretando na redução da produtividade vegetal (COELHO et al., 2009). Se a perda de água da planta é superior à sua capacidade de absorção e transporte, o potencial hídrico da folha diminui, o que leva ao fechamento dos estômatos e à redução da fotossíntese (COSTA; MARENCO, 2007).

Em estudo de comparação entre café arábica e robusta, analisando as trocas gasosas, Carvalho et al. (2001) verificaram que taxas de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática, foram maiores no café robusta.

Objetivou-se, com o presente estudo, identificar características anatômicas e fisiológicas em clones de *Coffea canephora* que possam ser utilizadas na pré-seleção de plantas no melhoramento genético para tolerância à

seca, bem como identificar, entre os clones estudados, aqueles que agrupam a maioria dessas características.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho, utilizaram-se como base os acessos existentes no Banco Ativo de Germoplasma da Embrapa Cerrados de *Coffea canephora* variedade botânica Robusta, oriundos de cruzamentos naturais de 48 genitores do Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper). No ano de 2008, foram introduzidos 3500 acessos na Embrapa Cerrados que, posteriormente, passaram por seleção baseada no potencial produtivo, vigor, altura e arquitetura de plantas, gerando os clones que foram avaliados no presente trabalho.

O clima da área onde foram cultivadas as plantas utilizadas nesse estudo, de acordo com classificação de Köppen (1948), é do tipo Aw, e altitude de 1000m. A área é plana de Latossolo Vermelho Escuro com textura argilosa e apresentando média anual de precipitação de 1600 mm, com duas estações típicas de períodos chuvosos e de seca com temperatura média anual de 22°C, clima com aptidão para produção de café arábica.

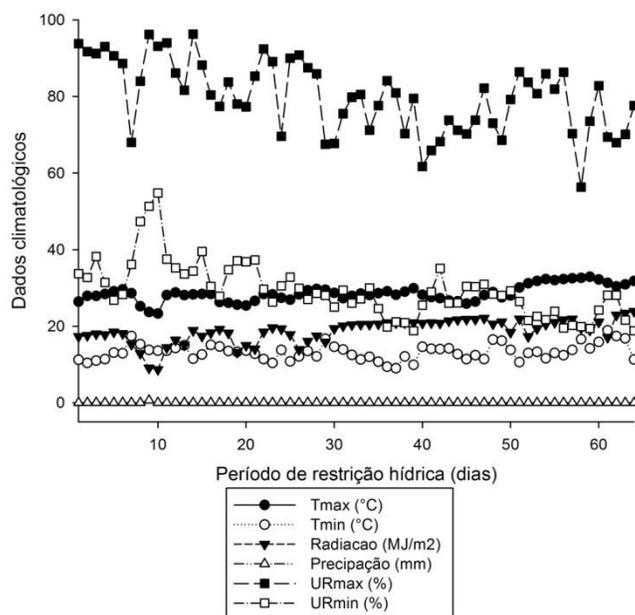
No ano de 2012, dentre os acessos introduzidos foram selecionadas 13 plantas, com base nas características fenotípicas, altura, vigor, produção e arquitetura da planta. Essas plantas foram enraizadas por estaquia de ramos ortotrópicos, as mudas com quatro pares de folhas foram levadas a campo para plantio, no mesmo ano de seleção. O plantio foi realizado em linhas, por material, utilizando um espaçamento de 3,7 x 1,0m em sistema irrigado por pivô central.

Para realização do presente trabalho, em 2015, foram selecionados 7 clones (1, 3, 7, 8, 11, 12 e 13) que se destacaram positivamente entre os 13, com base nas características fenotípicas, produção, altura e arquitetura da planta. Nesse mesmo ano, as plantas passaram por um período de suspensão da irrigação (30 de junho a 1º de setembro) para uniformização da florada. Assim, buscou-se avaliar as características morfofisiológicas de plantas, frente a um

estresse hídrico imposto e após a volta da irrigação, visando selecionar características que sejam mais expressivas nos clones para tolerância à seca.

A caracterização climática referente ao período de suspensão da irrigação do presente trabalho está ilustrada na Figura 1. Em função das condições climáticas (médias de temperatura e umidade relativa do ar, mínima e máxima: 13,23 °C/29,30 % e 28,58 °C/79,99 %, respectivamente; e média de precipitação e radiação: 0,009 mm e 18,74 MJ m⁻²), houve uma significativa demanda evapotranspirativa aliada à falta de precipitação, propiciando condições para que as plantas percebessem a deficiência hídrica durante o período de restrição hídrica imposta.

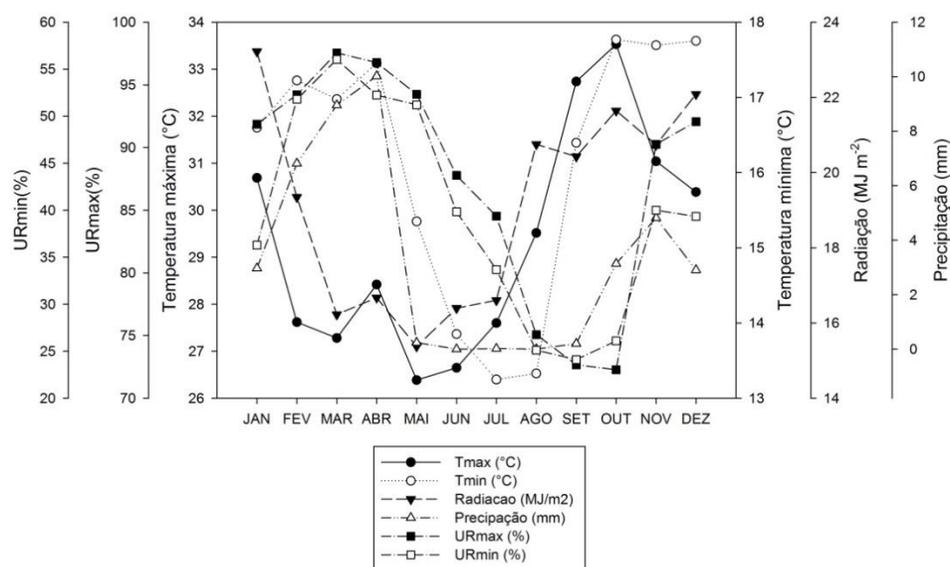
Figura 1 - Dados de temperatura (°C), máxima e mínima, umidade relativa do ar (%), máxima e mínima, radiação (MJ m⁻²) e precipitação (mm) durante o período de deficiência hídrica imposta nas plantas de *Coffea canephora* var. Robusta de 30 de junho a 1º de setembro de 2015.



Fonte: Estação Climatológica CPAC/PLANALTINA

É importante observar a caracterização climática do ano de avaliação (2015) da área estudada. A Figura 2 ilustra a condição climática em que as plantas de *Coffea canephora* do presente experimento estavam sendo cultivadas. Essa condição é típica de área de cerrado, com alta temperatura máxima, baixa umidade relativa do ar mínima e baixa pluviosidade na maioria dos meses do ano. Vale ressaltar que durante o período de avaliação do presente trabalho (setembro a dezembro) houve grande variação climática, sendo que em outubro picos de temperatura média máxima (33,53°C) e mínima (17,77°C), aliados à alta radiação média (21,64 MJ m⁻²) e baixa pluviosidade média (3,14 mm) ocasionaram redução da umidade relativa média máxima (72,26%) e mínima (26,09%). Essa variação climática observada pode ter ocasionado um estresse adicional nas plantas de *Coffea canephora* do presente experimento.

Figura 2 - Dados médios de temperatura (°C), máxima e mínima, umidade relativa do ar (%), máxima e mínima, radiação (MJ m⁻²) e precipitação (mm) durante o ano de 2015 na área experimental.



Fonte: Estação Climatológica CPAC/PLANALTINA

3.1 Características avaliadas

Para as análises das características anatômicas e fisiológicas foram selecionadas folhas completamente expandidas, do terceiro ou quarto par, no terço médio dos ramos plagiotrópicos de seis plantas. As avaliações foram realizadas em dois períodos para as análises anatômicas, compreendendo o final do período de suspensão da irrigação (PSI) e três meses após o retorno da irrigação (3mARI). Já para as análises fisiológicas, além dos períodos supracitados foram realizadas avaliação dois dias após o retorno da irrigação (2dARI).

3.1.1 Características anatômicas

Para os estudos anatômicos, folhas foram fixadas em etanol 70% (v v⁻¹) por, aproximadamente, 7 dias e, posteriormente, após a troca da solução utilizada na conservação das folhas, voltaram a ser conservadas no mesmo reagente etanol 70% (v v⁻¹). As secções transversais foram obtidas em micrótomo de mesa, tipo LPC e as secções paradérmicas à mão livre, com uso de lâmina de aço. Após os cortes foram submetidas à clarificação com hipoclorito de sódio (1,25% de cloro ativo), lavados em água destilada três vezes e corados. As secções transversais com solução safrablau (azul de astra 0,1% e safranina 1% na proporção de 7:3) e as secções paradérmicas safranina 1%, sendo posteriormente os cortes montados em lâminas semipermanentes com glicerol 50% (v v⁻¹) (KRAUS; ARDUIN, 1997).

As lâminas foram observadas e fotografadas em microscópio óptico, modelo Olympus BX 60 acoplado à câmera digital Canon A630, utilizadas para captura das imagens. Para cada repetição estatística dos clones, foram realizadas nove fotografias, utilizando duas lâminas com secções transversais (três imagens do limbo e três da nervura principal) e outras três para os cortes paradérmicos, sendo sempre de secções diferentes. As imagens obtidas foram analisadas em software específico para análise de imagens UTHSCSA-Imagetool.

Para determinação da espessura dos tecidos foliares foram avaliadas: espessura da cutícula da face adaxial (ECA), espessura da epiderme da face adaxial (EEAD), espessura da epiderme abaxial (EAB); espessura do parênquima paliádico (EPP), espessura do parênquima esponjoso (EPE), espessura do mesofilo (EM), número de vasos do xilema (NVX), diâmetro dos vasos do xilema (DVX) e espessura do floema entre o pró-câmbio e o esclerênquima (EFL).

Para a caracterização dos estômatos, foram avaliados: número de estômatos (NE); diâmetro polar dos estômatos (DPE); diâmetro equatorial dos estômatos (DE). Sendo calculados: densidade estomática - DE - (número de estômatos por mm^2) e funcionalidade estomática - FUN - (considerada como a relação diâmetro polar/diâmetro equatorial dos estômatos), segundo Castro, Pereira e Paiva (2009).

3.1.2 Características fisiológicas

Foram realizadas análises fisiológicas, tais como trocas gasosas, potencial hídrico, índice de área foliar, área foliar específica, condutância estomática, sendo cada uma especificada abaixo:

Para avaliação das trocas gasosas, utilizou-se um sistema de análise de gases infravermelho (IRGA LICOR – 6400XT), sob luz saturante ($1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), avaliando-se taxa fotossintética líquida ($A-\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), condutância estomática ($g_s-\text{mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$), a taxa transpiratória ($E-\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), realizada no período da manhã (8h-9h).

O potencial hídrico Ψ_w (MPa) foliar, foi medido no período antemanhã (3:00h às 5:00h), com uma bomba de pressão tipo Scholander (Modelo 1000, PMS Instrument Company).

A condutância estomática foliar ($CE-\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) foi obtida utilizando-se o porômetro, medindo a face abaxial das folhas (SC-1, Decagon Devises), esse método para condutância foi realizado durante o período de suspensão

hídrica, isso devido ao enrolamento das folhas não sendo possível avaliar as trocas gasosas pelo IRGA, por isso o uso do porômetro.

As medições de índice de área foliar- IAF (m^2/m^2) 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 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) expressada abaixo, foi obtida pela razão entre a área total da folha (valores determinados por um medidor de área foliar da marca LI-3100 Área Meter-Li-Cor) e a matéria seca (kg) da mesma:

$$AFE = AFT/MSF; \quad AFT - \text{Área Foliar Total (m}^2\text{).}$$
$$MSF - \text{Massa Seca da Folha (Kg).}$$

A eficiência do uso da água (EUA) foi calculada utilizando a razão A/E (SILVA et al., 2010).

4 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos nas análises anatômicas e fisiológicas foram submetidos à análise de variância, utilizando-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). As médias obtidas foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de significância de 5% de probabilidade.

5 RESULTADOS

Nas Tabelas 1, 2 e 3 estão apresentados os valores médios de características anatômicas e fisiológicas, respectivamente, referentes aos períodos avaliados para cada clone e a interação das variáveis e épocas de avaliação. Os dados apresentados referem-se às características que apresentaram diferenças significativas.

Tabela 1 - Valores médios das características anatómicas foliares (μm) avaliadas no final do período de suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação em clones de *Coffea canephora*. Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.

CLONE	ECA		EFL		EPP		EEAD		FUN	
	FPSI	3mARI	FPSI	3mARI	FPSI	3mARI	FPSI	3mARI	FPSI	3mARI
1	1,72aB	2,79aA	66,04aA	49,61aB	86,64aA	67,85aB	18,22aB	26,15aA	1,55aA	1,53bA
3	1,51bB	3,68aA	62,21aA	51,37aB	68,38aA	55,50bB	19,39aB	22,51bA	1,65aA	1,57bA
7	1,41bB	3,10aA	54,69bA	50,49aB	75,31aA	56,49bB	16,26aB	19,25bA	1,65aA	1,62aA
8	1,39bB	3,54aA	67,03aA	51,09aB	82,21aA	76,21aA	15,48aB	20,33bA	1,55aB	1,71aA
11	1,55bB	2,86aA	70,09aA	49,64aB	72,48aA	55,49bB	20,60aA	22,06bA	1,65aA	1,67aA
12	1,77aB	3,48aA	65,22aA	49,42aB	81,33aA	59,18bB	19,63aA	23,36aA	1,67aA	1,52bB
13	1,91aB	3,31aA	69,86aA	53,18aB	73,97aA	58,00bB	20,83aA	24,22aA	1,59aA	1,57bA
CV (%)	12,39	19,01	11,65	11,03	15,06	13,07	18,59	13,06	5,22	4,75
Média	1,61	3,25	65,08	50,69	77,19	61,24	18,63	22,55	1,62	1,59

FPSI = final do período de suspensão da irrigação; 3mARI = 3 meses após o retorno da irrigação; EAD = espessura da cutícula adaxial; EFL = espessura do floema; EPP = espessura do parênquima paliçádico; EEAD = espessura da epiderme adaxial; FUN = funcionalidade específica. Letras maiúsculas comparam as épocas dentro de cada clone e letras minúsculas os clones dentro de cada época. Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha não diferem entre si pelo teste de Skott- knott, para $P < 0,05$.

Tabela 2 - Valores médios das características fisiológicas avaliadas, condutância estomática porômetro ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), potencial hídrico (Mpa), Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.

CLONE	CE	CE	Ψ_w	Ψ_w
	FPSI	2dARI	FPSI	2dARI
1	29,00bB	132,03bA	-4,40dA	-0,45aB
3	28,80bB	201,08aA	-1,60aA	-0,54bB
7	30,50bB	174,70aA	-1,60aA	-0,53bB
8	44,70aB	91,97bA	-3,70cA	-0,45aB
11	31,80bB	133,15bA	-2,50bA	-0,57bB
12	41,90aB	135,07bA	-3,10cA	-0,61bB
13	32,00bB	118,92bA	-2,00bA	-0,39aB
CV (%)	9,9	21,87	21	-23,75
Média	34,11	140,99	-2,71	-0,51

FPSI= período de suspensão da irrigação; 2dARI= 2 dias após o retorno da irrigação; CE= condutância estomática porômetro; Ψ_w = potencial hídrico. Letras maiúsculas comparam as épocas dentro de cada clone e letras minúsculas os clones dentro de cada época. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Skott- knott, para $P < 0,05$.

Tabela 3 - Valores médios das características fisiológicas avaliadas, condutância estomática ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) eficiência do uso da água, fotossíntese ($\mu\text{mol CO}_2 \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e índice de área foliar. Universidade Federal de Lavras, UFLA, 2016.

CLONE	Gs		E		A		EUA		IAF	
	2dARI	3mARI	2dARI	3mARI	2dARI	3mARI	2dARI	3mARI	FE	3mARI
1	0,06bB	0,20bA	1,15bB	2,27cA	6,56aB	12,12aA	5,93bA	5,51aA	2,80bB	4,00bA
3	0,09aB	0,19bA	1,70aB	2,64cA	7,54aB	11,71aA	4,78bA	4,49bA	3,80aA	4,40bA
7	0,07bB	0,19bA	1,21bB	2,88bA	7,55aB	11,54aA	6,39bA	4,06cB	4,60aB	5,95aA
8	0,05bB	0,19bA	1,02bB	2,97bA	6,90aB	11,50aA	6,90aA	3,89cB	2,70bB	4,67bA
11	0,06bB	0,17bA	1,06bB	3,08bA	7,67aB	11,44aA	7,85aA	3,71cB	4,60aB	6,01aA
12	0,05bB	0,30aA	0,99bB	4,22aA	6,55aB	11,88aA	7,36aA	2,81dB	4,40aA	4,14bA
13	0,04bB	0,23bA	0,80bB	3,68aA	6,20aB	11,31aA	7,87aA	3,16dB	3,20bA	1,27bB
CV (%)	36,46	26,13	31,16	14,99	14,24	13,07	14,26	14,85	15,29	14,6
Média	0,065	0,21	1,14	3,1	7	11,65	7	3,95	3,7	4,35

2dARI= 2 dias após o retorno da irrigação; 3mARI= 3 meses após o retorno da irrigação; FE= final do estresse; gs= condutância estomática IRGA; E= transpiração; EUA= eficiência do uso da água (razão fotossíntese A e transpiração E); A= fotossíntese. IAF= índice de área foliar. Letras maiúsculas comparam as épocas dentro de cada clone e letras minúsculas os clones dentro de cada época. Médias seguidas de mesma letra na coluna e na linha não diferem entre si pelo teste de Skott- knott, para $P < 0,05$.

Foi observado, com as características anatômicas e fisiológicas, que os clones estudados se comportaram diferentemente entre eles e as épocas avaliadas (TABELAS 1, 2 e 3). De maneira geral, no final do período de suspensão da irrigação, e no retorno desse, ocorreu adaptabilidade significativa em todos os clones estudados, na maioria das características avaliadas. Exceção observada para: espessura do parênquima paliçádico no clone 8; espessura da epiderme nos clones 11, 12, e 13; eficiência do uso da água em todos os clones estudados; e índice de área foliar nos clones 3 e 12.

Na Tabela 1 foi possível observar que os clones 1, 12 e 13 apresentaram maiores valores médios para a espessura da cutícula (no final do período de suspensão da cutícula). Analisando essa variável em relação às épocas de coletas, final do período de suspensão da irrigação e três meses após o retorno, nota-se maior espessura na segunda época para todos os clones.

Para espessura do floema, o clone 7 apresentou menor valor, quando comparado aos demais no final do período de suspensão da irrigação, mas entre as diferentes épocas avaliadas, em relação ao espessamento dessa variável, no final do período da suspensão da irrigação foi maior para todos os clones estudados.

Valores médios de espessura do parênquima paliçádico foram maiores nos clones 1 e 8 após três meses do retorno da irrigação, em comparação aos demais clones estudados. Observa-se também que na comparação entre as épocas avaliadas, houve menor espessura do parênquima paliçádico 3 meses após o retorno da irrigação para quase todos os clones, à exceção do clone 8 que não diferiu entre as épocas.

A espessura da epiderme adaxial apresentou maiores valores médios para os clones 1, 12 e 13, em comparação com os demais clones, isso observado no período de três meses após o retorno da irrigação, mas comparando-se as

épocas, houve maior espessura dessa variável nesse mesmo período para todos os clones estudados.

Na avaliação da funcionalidade estomática, três meses após o retorno da irrigação observou-se que os clones 7, 8 e 11 tiveram maiores valores médios. Na avaliação das épocas, notou-se que não houve diferença para a maioria dos clones avaliados, observando que no final da suspensão da irrigação apenas o clone 8 apresentou menor valor e, três meses após o retorno da irrigação, o clone 12 (TABELA 1).

A condutância estomática observada nos dois períodos avaliados variou entre as épocas em todos os clones estudados. E quando avaliada a diferença da condutância estomática entre os clones no final do estresse, observou-se que os clones 8 e 12 tiveram maiores valores médios. Já na avaliação dessa característica, dois dias após o retorno da irrigação, os clones 3 e 7 apresentaram maiores médias (TABELA 2). Três meses após o retorno da irrigação apenas o clone 12 teve maior valor médio observado (TABELA 2).

Para a variável potencial hídrico, foi possível observar que, na avaliação do final do estresse, os clones 3 e 7 apresentaram os valores médios menos negativos em relação aos demais clones. É importante ressaltar que, dois dias após o retorno da irrigação, todos os clones apresentaram aumento na quantidade de água livre disponível, quando comparados ao final do estresse (TABELA 2). Entretanto, os clones 1, 8 e 13 apresentaram os maiores valores médios de potencial hídrico entre os clones avaliados (TABELA 2).

Maiores valores médios referentes à eficiência do uso da água foram observados nos clones 8, 11, 12 e 13 dois dias após o retorno da irrigação e no clone 1 três meses após o retorno da irrigação, quando em comparação com os demais clones avaliados (TABELA 3).

Para as análises de trocas gasosas, na condutância estomática o clone 3 apresentou maior valor médio dois dias após o retorno da irrigação e o clone 12,

três meses após. Para fotossíntese não houve diferença entre os clones, independente da época e para transpiração, sendo que o clone 3 apresentou maior valor médio dois dias após o retorno da irrigação e os clones 12 e 13, três meses após. Entre as épocas avaliadas, foi observado maiores valores médios três meses após o retorno da irrigação, para todas as variáveis.

Para a variável índice de área foliar, comparando os clones estudados, foi possível observar que os clones 3, 7, 11 e 12 apresentaram os maiores valores no final do estresse (TABELA 3). Já três meses após o retorno da irrigação, os clones que apresentaram os maiores valores foram os 7 e 11. Os clones 1, 7, 8 e 11 aumentaram o índice de área foliar três meses após a irrigação em comparação à avaliação do final do estresse; os clones 3 e 12 mantiveram o índice e apenas o clone 13 teve o índice de área foliar diminuído, três meses após a irrigação, em comparação à avaliação do final do estresse (TABELA 3).

Aliado às características avaliadas no presente trabalho, foi observado o enrolamento das folhas no final do período de suspensão do retorno da irrigação (FIGURA 3) e a recuperação da área foliar três meses após o retorno da irrigação (FIGURA 4) dos clones avaliados.

Figura 3 - Efeito do estresse causado pela suspensão da irrigação durante aproximadamente 60 dias em clones de *Coffea canephora* var. Robusta com três anos de implantação.



Fonte: Da autora (2016).

Figura 4 - Recuperação dos Clones de *Coffea canephora* var. Robusta, e três meses do retorno da irrigação.



Fonte: Da autora (2016).

6 DISCUSSÃO

Estudos relacionados com as características anatômicas e fisiológicas indicam que o uso em conjunto das mesmas pode explicar melhor o comportamento das plantas frente ao estresse abiótico imposto (suspensão da irrigação), possibilitando a pré-seleção dessas plantas em um programa de melhoramento genético, visando tolerância à seca (BATISTA et al., 2010; DIAS et al., 2005; GRISI et al., 2008).

Entre os períodos avaliados no presente trabalho, os valores médios observados da variável espessura da cutícula foram maiores três meses após o retorno da irrigação. Considerando que as folhas avaliadas nesse período se desenvolveram após o estresse hídrico imposto, pode-se concluir que todos os clones acionaram esse mecanismo de defesa como forma de proteção e/ou adaptação a esse estresse.

A espessura da cutícula está diretamente ligada à defesa da planta em condições de estresse hídrico uma vez que sua natureza lipídica elevada (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009) pode diminuir a perda de água excessiva por transpiração e aumentar a eficiência do uso da água (BALIZA et al., 2012; BATISTA et al., 2010; SOUZA et al., 2010).

Entre os clones avaliados no final do período de suspensão da irrigação no presente trabalho, essa relação foi observada para os clones 1, 12 e 13, pois os mesmos apresentavam maiores espessuras e, conseqüentemente, estavam entre os clones que apresentaram menor transpiração e maior eficiência do uso da água dois dias após o retorno da irrigação. A espessura da cutícula pode também estar indiretamente relacionada ao potencial hídrico, uma vez que Batista et al. (2010) observaram que algumas cultivares de *Coffea arabica* sob estresse hídrico, apresentaram valores menos negativos de potencial hídrico e maiores espessuras da cutícula. Esses autores concluíram que a menor perda de

água em cutículas mais espessas pode ter resultado na maior quantidade de água livre observada. .

Da mesma forma que o presente estudo, Castanheira (2015) observou maiores espessuras de cutícula em algumas cultivares de *Coffea arabica* que passaram por estresse hídrico, demonstrando que esse mecanismo de proteção pode ser acionado, independentemente da espécie de cafeeiro analisada.

Para a espessura da epiderme adaxial foi observada diferença significativa entre os clones avaliados no período de três meses após o retorno da irrigação, sendo que, bem como para a espessura da cutícula, esse parâmetro foi maior nesse período em comparação ao final da suspensão da irrigação, para os clones 1, 12 e 13. Esse mecanismo de defesa da planta pode ser acionado frente ao estresse imposto, pois é sabido que estresses abióticos, como alta incidência de radiação e deficiência hídrica podem aumentar a espessura da epiderme (BALIZA et al., 2012; SOUZA et al., 2007), podendo reduzir a taxa transpiratória e, conseqüentemente, aumentar a eficiência do uso da água, como observado para o clone 1, no presente trabalho, três meses após a irrigação.

O aumento da espessura da cutícula e da epiderme adaxial observado aos três meses após o retorno da irrigação, no presente trabalho, pode estar relacionado à sensibilidade desses parâmetros frente aos picos de temperatura e radiação ocorridos no mês de outubro, aliado ao aumento dessas variáveis climáticas, no período de setembro a dezembro, mecanismo acionado como forma de proteção da planta para menor perda de água. A incidência de radiação em plantas de café ocasiona modificações nas estruturas internas das mesmas e suas respectivas funções (BALIZA et al., 2012).

O aumento da espessura do floema, medida entre o procâmbio e o esclerênquima, pode permitir maior fluxo de carboidratos da parte aérea para as raízes, bem como a translocação de nutrientes necessários para o

desenvolvimento da planta e produção dos frutos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; PEREIRA et al., 2008; RIBEIRO et al., 2012). A importância do crescimento de raízes em períodos de deficiência hídrica é permitir que as mesmas alcancem camadas mais profundas do solo em busca de água (LANA et al., 2016; SILVA et al., 2010).

Diante do exposto, todos os clones avaliados aumentaram a espessura do floema no final do período de suspensão da irrigação em relação ao período de três meses após o retorno da irrigação, sendo que o clone 7 apresentou menor porcentagem de aumento (8,3%), em comparação aos demais clones avaliados (média de 28,3 %). Os resultados indicaram que o aumento da espessura do floema no final do período de suspensão da irrigação pode ter ocasionado maior produção de fotoassimilados nesse período que, se deslocados para o sistema radicular, possibilitaram maior crescimento das raízes e,conseqüentemente, a sobrevivência dos clones avaliados.

Estudo realizado utilizando genótipos de mandioca em diferentes ambientes demonstrou que os maiores valores médios para espessura do floema coincidiram com maior desenvolvimento da raiz, concluindo que, possivelmente, houve maior translocação de fotoassimilados para as raízes, em função do aumento da espessura do floema em condições de estresse hídrico (RIBEIRO et al., 2012).

No presente trabalho, essa relação não pôde ser visualizada, visto que não foi realizada a análise do sistema radicular e também não foi verificada diferença de potencial hídrico, em função da espessura do floema.

O desenvolvimento do parênquima paliçádico pode alterar as trocas gasosas, sendo que a fixação de CO₂ com a abertura dos estômatos pode ocorrer em um curto espaço de tempo, e após acúmulo de CO₂ nesse tecido desenvolvido, os estômatos se fecham para reduzir a perda de água por transpiração, resultando em maior eficiência do uso da água (BATISTA et al.,

2010; CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; SOUZA et al., 2010; VOLTAN; FAHL; CARELLI, 1992).

Diante do exposto, no presente trabalho foi possível observar essa relação com o clone 1, que três meses após o retorno da irrigação apresentou maior espessura do parênquima paliçádico, estando entre os clones que apresentaram menor transpiração e, conseqüentemente, apresentando maior eficiência do uso da água.

A funcionalidade estomática nas plantas, relação entre o diâmetro polar e equatorial dos estômatos, é de grande importância nas trocas gasosas, pois quanto maior a funcionalidade, mais elipsoide é o formato do estômato e menor é a perda de água por transpiração (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008; SOUZA et al., 2010), ou seja, maior é a resistência estomática (MELLO et al., 2014).

Diante do exposto, entre as épocas avaliadas, maior funcionalidade dos estômatos foi observada nos dois períodos para a maioria dos clones estudados, sendo que a relação dessa característica com transpiração e eficiência do uso da água foi observada nos clones 8, 11, 12 e 13, dois dias após o retorno da irrigação, indicando que os mesmos possam ter aumentado a eficiência de utilização da água, devido à alta funcionalidade dos estômatos.

As análises de trocas gasosas realizadas no presente trabalho possibilitaram verificar que, tanto a condutância estomática, quanto a transpiração e fotossíntese apresentaram aumento em seus valores médios três meses após o retorno da irrigação, em comparação às análises de dois dias após o retorno da irrigação e/ou no final do estresse. Esses resultados indicam a recuperação de todos os clones avaliados após o estresse imposto.

O potencial hídrico foliar representa a energia livre da água na planta e tem sido muito utilizado para avaliar o estado hídrico de plantas submetidas à

deficiência hídrica (BATISTA et al., 2010; BERGONCI et al., 2000; NOGUEIRA et al., 2001).

O baixo valor de potencial hídrico observado nos clones 1, 8 e 12 no final do período de suspensão da irrigação, não significa exatamente que eles possam estar com baixo conteúdo de água, uma vez que o mecanismo de ajustamento osmótico pode ter sido acionado, mantendo assim um alto conteúdo relativo de água (LANNA et al., 2016).

O ajustamento osmótico em plantas é resultado da maior concentração de sais no interior de suas células, resultando em menores valores de potencial osmótico e, conseqüentemente, na manutenção do turgor celular, constatado com o maior conteúdo relativo de água (LANNA et al., 2016).

Estudos realizados em cafeeiros divergem quanto à atuação desse mecanismo de defesa frente ao estresse hídrico, demonstrando que alguns trabalhos com *Coffea canephora* ativaram esse mecanismo de tolerância à seca (DAMATTA et al., 2003; SILVA et al., 2013), enquanto outros não (SILVA et al., 2010).

Ainda em relação ao potencial hídrico, é importante ressaltar que dois dias após o retorno da irrigação os clones 1, 8 e 13 apresentaram maiores valores médios em relação aos demais, evidenciando que a recuperação dos mesmos foi mais rápida.

A área foliar das plantas está relacionada com a maioria das características avaliadas, pois com esse índice avalia-se a condição favorável de alguns clones, mesmo em condições de estresse hídrico. As plantas sofrem adaptações para sobrevivência em condições de déficit hídrico, podendo ocorrer a desfolha, reduzindo-se assim a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, comprometendo a produtividade (SANTOS, 2015).

Estudos comparando-se clones de *Coffea canephora* tolerante e sensível ao déficit hídrico mostraram que houve uma relação entre o maior índice de área

foliar ao potencial hídrico das plantas, ou seja, clones com valores significativos de área foliar tiveram maiores valores de potencial hídrico, sendo observada uma menor condutância estomática (DAMATTA et al., 2003).

No presente trabalho, foi observada relação entre essas características para os clones 3, 7 e 11.

O murchamento das folhas que causou enrolamento, observado no final do período de suspensão da irrigação, pode ter reduzido o índice de área foliar observado nesse período em comparação aos três meses após o retorno da irrigação para os clones 1, 7, 8 e 11. O enrolamento das folhas pode ocasionar redução na projeção da área foliar (LISSON et al., 2005).

Para o clone 13, essa relação foi inversa, possivelmente em função da condição climática após a avaliação do final do período de suspensão da irrigação (FIGURA 2), onde altas temperaturas e radiação, juntamente com baixa umidade relativa do ar possam ter afetado esse clone. Dessa forma, plantas que consigam manter-se enfolhadas e turgidas em condições de deficiência hídrica, podem ser importantes materiais a serem selecionados em um pré-melhoramento genético para busca de tolerância à seca.

No presente trabalho, os clones que se destacaram quanto a essa característica foram os clones 3 e 12. Importante ressaltar que o clone 3 está entre os clones que apresentaram menor transpiração e maior eficiência do uso da água.

Regiões típicas de cerrado possuem, em sua maioria, características climáticas como altas temperaturas e radiação e baixas umidade relativa do ar e pluviosidade. No presente trabalho, foi possível observar que todos os clones de *Coffea canephora* utilizados apresentaram mecanismos de defesa frente ao estresse hídrico imposto ou mesmo frente à condição climática em que foram desenvolvidos. Dentre os sete clones estudados, os de número 1, 12 e 13

reuniram a maioria das características anatômicas e fisiológicas relacionadas à tolerância à seca, avaliadas.

7 CONCLUSÕES

Nas condições experimentais estudadas, conclui-se que espessura da cutícula, da epiderme adaxial, do floema e do parênquima paliçádico, bem como o potencial hídrico, eficiência do uso da água e o índice de área foliar são potenciais características que podem ser utilizadas na seleção de plantas de cafeeiro, no pré-melhoramento para tolerância à seca.

Os clones de número 1, 12 e 13 reúnem mais características de resistência à seca entre os sete estudados.

REFERÊNCIAS

- 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, set./dez. 2012.
- BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.
- BELING, R. R. et al. **Anuário brasileiro do café 2005**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2005. 136 p.
- BERGONCI, J. I. et al. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, ago. 2000.
- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Estatísticas café**: informe estatístico do café, março 2015. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/estatisticas>>. Acesso em: 11 nov. 2015.
- CARVALHO, C. et al. **Anuário brasileiro do café 2015**. Santa Cruz do Sul: Ed. Gazeta Santa Cruz, 2005. 104 p.
- CARVALHO, L. M. D. et al. Morphophysiological aspects of Catuaí-Vermelho and Conilon coffee cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 411-416, mar. 2001.
- CASTANHEIRA, D. T. **Potencial de utilização de características anatômicas e fisiológicas na seleção de progênies de cafeeiro**. 2015. 74 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- CASTRO, E. M.; PEREIRA, F. J.; PAIVA, R. **Histologia vegetal**: estrutura e função de órgãos vegetativos. Lavras: UFLA, 2009. 234 p.
- COELHO, G. et al. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro 'Catuai'. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 1, p. 67-73, jan./fev. 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de safra brasileira, café:** quarto levantamento, janeiro/2016. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_01_12_14_17_16_boletim_graos_janeiro_2016.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2016.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapaguianensis*). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

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

DAMATTA, F. M. et al. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffeacaneophora*. **Plant Science**, Shannon, v. 164, n. 1, p. 111-117, Jan. 2003.

DAMATTA, F. M.; RENA, A. B. Tolerância do café a seca. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa, MG: UFV, 2001. p. 65-100.

DEDDECA, D. M. Anatomia e desenvolvimento ontogenético de *Coffea arabica* L. var. *typica* Cramer. **Bragantia**, Campinas, v. 16, p. 315-366, 1957.

DIAS, P. C. et al. Crescimento e alocação de biomassa em duas progênes de café submetidas a déficit hídrico moderado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. **Resumos Expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café, 2005. 1 CD-ROM.

FERRÃO, R. G. et al. Melhoramento genético de *Coffea canephora*. In: _____. **Café Conilon**. Vitória: Incaper, 2007. p. 1-702.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

GRISI, F. A. et al. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuai' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 6, p. 1730-1736, nov./dez. 2008.

GUERRA, A. F. et al. Manejo do cafeeiro, com uso de estresse hídrico controlado, para uniformização de florada. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa, MG: UFV, 2007. p. 83-115.

GUERRA, F.; ROCHA, O. C.; RODRIGUES, G. C. Manejo do cafeeiro irrigado no cerrado com estresse hídrico controlado. **Revista ITEM**, Brasília, v. 1/2, n. 65/66, p. 42-45, 2005.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Statistics**: historical data on the global coffee trade. Disponível em: <http://www.ico.org/new_historical.asp?section=Statistics>. Acesso em: 11 nov. 2015.

KÖPPEN, W. **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Mexico: Fondode Cultura Econômica, 1948. 478 p.

KRAUS, J. E.; ARDUIN, M. **Manual básico de métodos em morfologia vegetal**. Rio de Janeiro: EDUR, 1997. 198 p.

LANNA, A. C. et al. Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, water-stress induced with contrasting response towards drought. **Australian Journal of Crop Science**, Melbourne, v. 10, n. 1, p. 1, 2016.

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**, Elmsford, v. 47, n. 3, p. 239-247, 2002.

LISSON, S. N. et al. The historical and future contribution of crop physiology and modelling research to sugarcane production systems. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2, p. 321-335, 2005.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA - Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MCCOOK, S. Chronicle of a plague foretold crop epidemics and the environmental history of coffee in the Americas. **Varia Historia**, Belo Horizonte, v. 24, n. 39, p. 87-111, 2008.

MELO, E. F. et al. Anatomic and physiological modifications in seedlings of *Coffea arabica* cultivar Siriema under drought conditions. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p. 25-33, jan./fev. 2014.

NASCIMENTO, E. A. 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, maio/jun. 2006.

NOGUEIRA, R. J. M. C. et al. Alterações na resistência à difusão de vapor das folhas e relações hídricas em aceroleiras submetidas a déficit de água. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 13, n. 1, p. 75-87, 2001.

OLIVEIRA, N. K. et al. Anatomia foliar de cafeeiros implantados com o uso de polímero hidrorretentor. **Coffee Science**, Lavras, v. 9, n. 2, p. 258-265, abr./jun. 2014.

PEREIRA, F. J. et al. Evolução da anatomia radicular do milho 'Saracura' em ciclos de seleção sucessivos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 12, p. 1649-1656, dez. 2008.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M. Photosynthesis and drought: can we make metabolic connections from available data? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 3, p. 869-882, 2011.

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**, Shannon, v. 167, n. 6, p. 1307-1314, 2004.

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**, London, v. 96, n. 1, p. 101-108, July 2005.

RIBEIRO, M. N. O. et al. Anatomia foliar de mandioca em função do potencial para tolerância à diferentes condições ambientais. **Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 354-361, abr./jun. 2012.

SANTOS, H. R. B. **Abordagem multivariada de características fisiológicas foliares de cana-de-açúcar sob estresse hídrico**. 2015. 70 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

SILVA, E. A. et al. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 493-501, 2009.

SILVA, P. E. et al. The functional divergence of biomass partitioning, carbon gain and water use in *Coffea canephora* in response to the water supply: implications for breeding aimed at improving drought tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 87, n. 1, p. 49-57, 2013.

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

SOUZA, G. S. et al. Estrutura foliar e de cloroplastídeos em *Mikania laevigata* Shultz Bip. ex Baker em diferentes condições de qualidade de luz. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 5, p. 78-80, 2007. Suplemento.

SOUZA, J. M. et al. Interrupção da irrigação e maturação dos frutos de café Conilon. **Científica**, Jaboticabal, v. 42, n. 2, p. 170-177, 2014.

SOUZA, T. C. et al. Leaf plasticity in successive selection cycles of ‘Saracura’ maize in response to soil flooding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 16-24, jan. 2010.

VICENTE, M. R. **Manejo e análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro na região oeste da Bahia**. 2005. 83 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

VOLTAN, R. B. Q. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, Florianópolis, v. 27, n. 4, p. 1-10, 2014.

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de cafeeiro submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Porto Alegre, v. 4, n. 2, p. 99-105, 1992.

APÊNDICE A- FOTOMICROGRAFIAS

Figura 1 - Fotomicrografias dos tecidos foliares de sete clones de *Coffea canephora* implantados na Embrapa Cerrados avaliados em duas épocas, final da suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação, em Planaltina- DF. Barra 50µm.

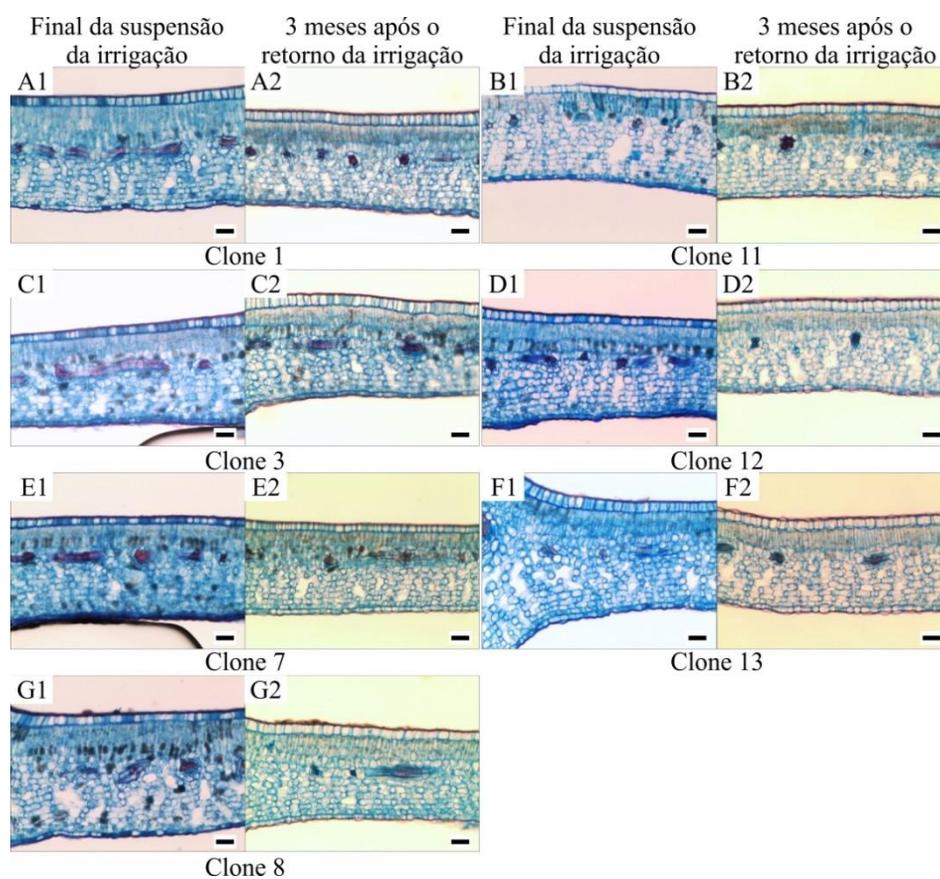


Figura 2 - Fotomicrografias dos feixes vasculares de folhas de sete clones de *Coffea canephora* implantados na Embrapa Cerrados avaliados em duas épocas, final da suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação, em Planaltina- DF. Barra50µm.

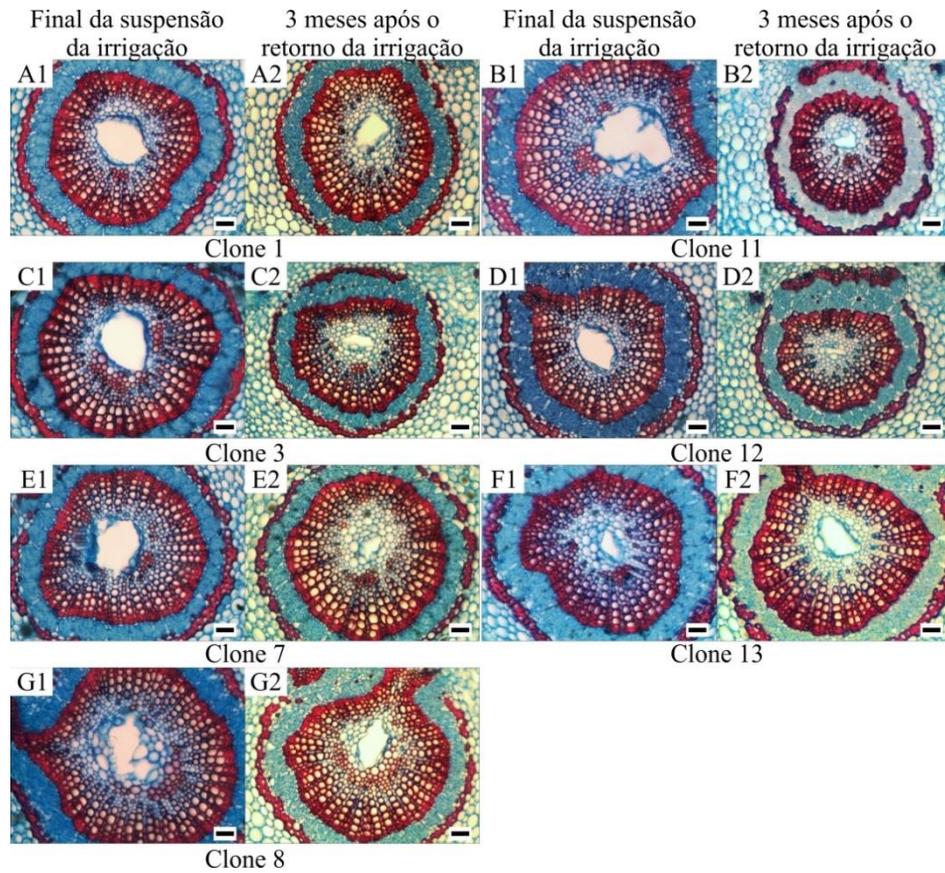


Figura 3 – Fotomicrografias de seções paradérmicas de folhas de sete clones de *Coffea canephora* implantados na Embrapa Cerrados avaliados em duas épocas, final da suspensão da irrigação e três meses após o retorno da irrigação, em Planaltina- DF. Barra 50µm.

