

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E ENGENHARIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

WILIAN RODRIGUES RIBEIRO

**MANEJO DA UMIDADE DO SOLO POR REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO
TEMPO EM CLONES DO CAFEEIRO CONILON**

ALEGRE, ESPÍRITO SANTO

2019

WILIAN RODRIGUES RIBEIRO

**MANEJO DA UMIDADE DO SOLO POR REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO
TEMPO EM CLONES DO CAFEIEIRO CONILON**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Orientador: Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis.

ALEGRE, ESPÍRITO SANTO

2019

Ficha catalográfica disponibilizada pelo Sistema Integrado de
Bibliotecas - SIBI/UFES e elaborada pelo autor

R484 m Ribeiro, Wilian Rodrigues, 1994-
 Manejo da umidade do solo por reflectometria no domínio do
 tempo em clones do cafeeiro conilon / Wilian Rodrigues
 Ribeiro. - 2019.
 60 f. : il.

Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis.

Coorientador: Paulo César Cavatte.

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias e
Engenharias.

1. Rubiáceae. 2. Café - Cultivo. 3. Efeito da umidade do
solo nas plantas. 4. Plantas - Relações hídricas. 5. Água na
agricultura. 6. Irrigação. I. Reis, Edvaldo Fialho dos. II. Cavatte,
Paulo César. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro
de Ciências Agrárias e Engenharias. IV. Título.

CDU: 63

**MANEJO DA UMIDADE DO SOLO POR REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO
TEMPO EM CLONES DO CAFEIEIRO CONILON**

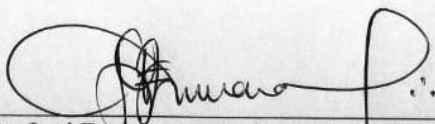
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Recursos Hídricos e Geoprocessamento em Sistemas Agrícolas.

Aprovada em 26 de fevereiro de 2019.

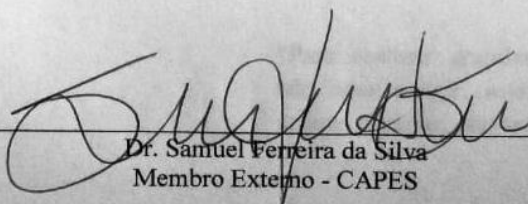
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.^o. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis
CCAUE-UFES (Orientador)



Prof.^o. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral
PPGPV - CCAUE-UFES (Representante da Linha)



Dr. Samuel Ferreira da Silva
Membro Externo - CAPES

“Para realizar grandes conquistas, devemos não apenas agir, mas também sonhar; não apenas planejar, mas também acreditar”.

Anatole France

À minha toda família, em especial:

Renildo Ribeiro

Purcina Rodrigues Ribeiro

Taísa Rodrigues Ribeiro

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar presente sem cessar a todos os momentos, permitindo a conclusão desta etapa e a realização de mais um objetivo.

Agradeço ao apoio de cada familiar, em especial meus pais Renildo Ribeiro e Purcina Rodrigues Ribeiro que sonharam e lutaram junto comigo diariamente.

Agradeço a todos meus amigos de estudos, de pesquisas, os quais se fizeram sempre presentes, em especial a equipe do projeto, Morgana Scaramussa Gonçalves, Lucas Zardo Barbiero, Eduardo Igreja Grasse, Daniel Ferreira Soares e André Alves Pinheiro.

Agradeço aos meus mestres, que levaram o saber ao meu alcance.

Agradeço em especial ao Orientador, Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, que proporcionou meu ingresso como pesquisador, colaborando diretamente na construção dos conhecimentos científicos, e na minha formação profissional.

Agradeço ao coorientador Prof. Dr. Paulo César Cavatte, por todos os ensinamentos, pela paciência e pela ajuda na elaboração desta pesquisa.

Agradeço aos membros da banca, Prof. Dr. José Francisco Teixeira do Amaral e Dr. Samuel Ferreira da Silva, pelos ensinamentos concedidos, pela disponibilidade e contribuição, agregando valores à qualidade deste trabalho.

Agradeço à Universidade Federal do Espírito Santo e ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

Agradeço ao CNPq e à CAPES, pelos investimentos ao projeto e concessão de bolsas.

Agradeço à Coobriel pela parceria nesta pesquisa, disponibilizando material para o estudo, buscando sempre mais tecnologias para cafeicultura capixaba.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram de forma direta ou indiretamente para esta conquista.

RESUMO

RIBEIRO, Wilian Rodrigues; M. Sc. Universidade Federal do Espírito Santo – Campus de Alegre. Fevereiro, 2019. **MANEJO DA UMIDADE DO SOLO POR REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO EM CLONES DO CAFEIEIRO CONILON**. Orientador: Edvaldo Fialho dos Reis. Coorientador: Paulo Cezar Cavatte.

A cafeicultura é a principal atividade agrícola do Estado do Espírito Santo, e o déficit hídrico é o fator ambiental que mais limita a produção. Para compreender o papel do déficit hídrico e gerar bases de conhecimento que possibilitem extrair o potencial máximo das culturas, aliado à utilização racional dos recursos hídricos, objetivou-se neste experimento analisar o crescimento inicial cafeeiro conilon (*Coffea canephora*), cultivar ‘ES8122’ - Jequitibá, em função de diferentes tensões de água no solo e dias após indução de regimes hídricos, realizando o monitoramento da umidade do solo pela técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR). O experimento foi instalado em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo, localizado no município de Alegre-ES. O estudo foi conduzido em um esquema de parcelas subdividida 8 x 4 x 3, sendo clones em oito níveis, nas subparcelas o fator tensão de água no solo em quatro níveis e na subsubparcela, épocas de avaliação em três níveis escalonados em função dos dias após indução dos regimes hídricos, em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. As variáveis avaliadas foram: altura das plantas, área foliar, massa seca total, partição de biomassa (relação parte aérea/raiz), taxa de crescimento relativo, taxa de consumo de água e eficiência no uso da água. Ao final do experimento verificou-se que os clones possuem diferentes respostas ao manejo da água no solo, devido à maior adaptabilidade a cada tensão submetida. O manejo da água no solo a 200kPa ocasionou perda de desempenho em todos os clones. As melhores respostas foram obtidas na faixa de umidade de 30 a 60 kPa, nos clones mais tolerantes essa faixa estende-se até 100 kPa. Desta forma, torna-se viável adoção de técnicas de manejo condizentes a cada clone.

Palavras chave: déficit hídrico, *Coffea canephora*, tensão de água no solo, TDR.

ABSTRACT

RIBEIRO, Wilian Rodrigues; M. Sc. Federal University of Espírito Santo - Alegre Campus. February, 2019. **MANAGEMENT OF SOIL MOISTURE BY REFLECTOMETRY IN THE FIELD OF TIME IN CONILON COFFEE CLONES**. Advisor: Edvaldo Fialho dos Reis. Co-Advisor: Paulo Cezar Cavatte.

Coffee cultivation is the main agricultural activity of the State of Espírito Santo, and the water deficit is the environmental factor that most limits production. In order to understand the role of water deficit and to generate knowledge bases to extract the maximum potential of the crops, together with the rational use of water resources, the objective of this experiment was to analyze the initial coffee conilon (*Coffea canephora*), 'ES8122' Jequitibá, due to different soil water stresses and days after induction of water regimes, monitoring the soil moisture by the time domain reflectometry (TDR) technique. The experiment was installed in a greenhouse at the Center of Agrarian Sciences and Engineering of the Federal University of Espírito Santo, located in the city of Alegre-ES. The study was conducted in a plot of 8 x 4 x 3 subdivided plots, with clones at eight levels, in the subplots the water stress factor in the soil at four levels and in the subsubparcela, evaluation times at three levels graded according to the days after induction of water regimes, in a completely randomized design with three replicates. The variables evaluated were: plant height, leaf area, total dry mass, biomass partition (shoot / root ratio), relative growth rate, water consumption rate and water use efficiency. At the end of the experiment it was verified that the clones have different responses to the water management in the soil, due to the greater adaptability to each submitted tension. Soil water management at 200 kPa resulted in loss of performance in all clones. The best responses were obtained in the humidity range of 30 to 60 kPa, in the more tolerant clones this range extends up to 100 kPa. In this way, it becomes feasible to adopt management techniques consistent with each clone.

Key words: water deficit, *Coffea canephora*, soil water stress, TDR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Curva de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo, utilizado como substrato.....	21
Figura 02. Procedimento de identificação das parcelas experimentais.	22
Figura 03. Curva de calibração do aparelho: correlação entre umidade do solo pelo método padrão gravimétrico em função método (TDR).	24
Figura 04. Monitoramento da umidade do solo pelo método da reflectometria no domínio do tempo (TDR).	24
Figura 05. Monitoramento dos valores diários de máxima, mínima e média da Temperatura (Figura 5A) e umidade relativa do ar (5B), e valores médios diários de radiação solar atmosférica (5C) em função dos dias pós plantio das mudas do cafeeiro conilon.	27
Figura 06. Altura de plantas (cm) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV _{Inicial} ; (B) EP ₃₀ , (C) EP ₆₀ e (D) EP ₉₀ dias após início dos regimes hídricos.	29
Figura 07. Altura de plantas (cm) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).	30
Figura 08. Área Foliar (cm ²) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV _{Inicial} ; (B) EP ₃₀ , (C) EP ₆₀ e (D) EP ₉₀ dias após início dos regimes hídricos.	33
Figura 09. Área Foliar (cm ²) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).	34
Figura 10. Massa seca total (g) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV _{Inicial} ; (B) EP ₃₀ , (C) EP ₆₀ e (D) EP ₉₀ dias após início dos regimes hídricos.	36
Figura 11. Massa seca total (g) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).	37
Figura 12. Taxa de crescimento relativa de oito clones cafeeiro conilon que compõem a cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, obtida nas quatro tensões de água no solo em função das épocas de aplicação dos regimes hídricos.	43
Figura 13. Consumo médio total de água em oito clones do cafeeiro conilon que compõem a cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, em função de cada nível do fator tensão de água no solo.....	44
Figura 14. Eficiência do uso da água (g L ⁻¹) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV _{Inicial} ; (B) EP ₃₀ , (C) EP ₆₀ e (D) EP ₉₀ dias após início dos regimes hídricos.....	45
Figura15. Eficiência do uso da água (g L ⁻¹) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Atributos físico-químicos do Latossolo utilizado como substrato.....	20
Tabela 02. Análise físico hídrica do Latossolo utilizado como substrato.	20
Tabela 03. Coeficientes de umidade volumétrica residual (θ_r), umidade volumétrica na saturação (θ_s), e os parâmetros de ajuste da equação (n e α), e volume de água no solo correspondente às das tensões matricial em kPa e log10.	21
Tabela 04. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável altura de plantas.....	30
Tabela 05. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável área foliar.	34
Tabela 06. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável massa seca total.	38
Tabela 07. Relação massa seca da parte aérea/raiz (P/R) dos oito clones componentes da variedade Jequitibá em função dos níveis de água no solo, no primeiro dia de indução dos regimes hídricos ($AV_{inicial}$) e ao final do do experimento (EP_{90}).....	41
Tabela 08. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável Eficiência no Uso da água (EUA)	47

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	VI
RESUMO.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
LISTA DE TABELAS.....	X
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 A CAFEICULTURA NO BRASIL E NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO	14
2.2 DÉFICIT HÍDRICO E O NOVO CENÁRIO DE MUDANÇAS	15
2.3 AGRICULTURA IRRIGADA.....	17
2.4 MANEJO DA UMIDADE DO SOLO PELA TÉCNICA DA REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDR)	18
3. MATERIAL E MÉTODOS	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5. CONCLUSÕES.....	50
6. REFERÊNCIAS	51

1. INTRODUÇÃO

A cultura do café tem importância socioeconômica histórica na agricultura brasileira (COELHO et al., 2009). O Brasil destaca-se como o maior produtor mundial (BATISTA et al., 2015), com safra de 2018 estimada entre 50,48 e 54,48 milhões de sacas beneficiadas em uma área total em torno de 1.842,2 mil hectares (CONAB, 2019). A produção nacional de conilon está estimada em 14,36 a 16,33 milhões de sacas, sendo de 12,48 a 14,73 milhões provenientes do Estado Espírito Santo, maior produtor nacional, um aumento de 1,5% maior em relação à última safra, devido à condições climáticas favoráveis (CONAB, 2019).

Contudo, estresse hídrico tem colocado em risco as safras das lavouras cafeeiras. O fenômeno do déficit hídrico é considerado o estresse ambiental mais prejudicial para o cafeeiro e conseqüentemente o fator mais limitante da produção (GUEDES et al., 2018). Períodos de estiagem têm constantemente prejudicado a produção agrícola no Estado, servindo como sinal de alerta aos pesquisadores sob o aspecto hídrico. O déficit hídrico impõe restrições que limitam o funcionamento dos processos fisiológicos, como metabolismo, transporte e translocação de solutos na planta, turgescência celular, regulação estomática (TAIZ & ZEIGER, 2013), ocasionando respostas negativas adjacentes das variáveis morfológicas e simultaneamente formação de metabólitos secundários, afetando o crescimento, o desenvolvimento e a produtividade.

Para contornar essa problemática, a utilização de complementação hídrica torna-se uma alternativa viável, porém deve ser feita de maneira criteriosa, não só visando a otimização da produtividade, mas também o uso adequado dos recursos hídricos (SACCON, 2018), sem causar danos ambientais e apresentando viabilidade econômica (CAVATTE, 2007). Entretanto, no Brasil, a grande maioria dos usuários da agricultura irrigada não adota qualquer estratégia de manejo de irrigação (MARTINS et al., 2007; BONOMO et al., 2014), assim, juntamente com os baixos índices de eficiência do sistema, ocasionam uma problemática relacionada ao desperdício de água (BRITO, GOMES & LUDWIG, 2012).

O manejo da água no solo é fator chave para racionalização (LOPES et al., 2014). Diante da crescente escassez de água em várias regiões do país, é importante que se leve em consideração a eficiência com a qual as plantas utilizarão esse recurso (VICENTE et al., 2015), realizando a reposição de água no solo, na quantidade e no momento certo, processo decisivo para o sucesso na produção (GONÇALVES et al., 2018), sendo primordial o conhecimento da necessidade de água das culturas (MARTINS et al., 2007; GONÇALVES et al., 2018; RIBEIRO et al., 2018) e da exatidão na estimativa do teor de umidade do solo.

O estudo da água no solo pode ser aplicado através de diversas metodologias (COSTA, 2016) como água disponível no solo (AD), que consiste no volume de água entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Aplicação desse conceito pode ser realizada através das técnicas de tensiometria, estimando o conteúdo de água disponível no solo em função de um determinado potencial matricial conforme trabalhos desenvolvidos por Sanches et al. (2015); Gonçalves et al. (2018) e Hott et al. (2018).

Correlacionar a umidade do solo com estado hídrico das plantas é fundamental (DaMATTA & RENA, 2002), uma vez que reduções na disponibilidade de água afetam o crescimento e a produção das culturas (COSTA, 2016), provocando alterações no comportamento vegetal cuja irreversibilidade vai depender do genótipo, do tempo de exposição, da severidade e principalmente do estágio de desenvolvimento da planta (SANTOS & CARLESSO, 1998; NASCIMENTO et al., 2011).

Tais problemas relacionados acentuam-se no sistema de implantação do cultivo (FERRAREZI et al., 2015), em função da alta sensibilidade das plantas à variação de umidade, ocasionando redução substancialmente no desempenho de crescimento como relatado por Dardengo et al. (2006); Fialho et al. (2010); Pizetta et al. (2016); Rodrigues et al. (2016), além de aumentar a necessidade de replantio em função da alta taxa de mortalidade das mudas, que onera ainda mais a instalação da lavoura.

Objetivou-se no presente estudo avaliar o crescimento inicial do cafeeiro conilon e sua resistência ao déficit hídrico em função de diferentes tensões de água no solo, realizando o monitoramento da umidade do solo pela técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR). Foram avaliadas as variáveis: altura de plantas (ALT), área foliar (AF), massa seca total (MST), relação parte aérea/raiz, taxa de consumo de água, taxa de crescimento relativo (TCR) e eficiência no uso da água (EUA).

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CAFEICULTURA NO BRASIL E NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

A cafeicultura destaca-se como uma das atividades agrícolas com grande influência na economia e nos aspectos socioeconômicos do país. O Brasil é o principal produtor e exportador mundial de café e o segundo maior consumidor, atrás apenas dos Estados Unidos no consumo (CASTANHEIRA et al., 2013). O café é a segunda bebida amplamente consumida no mundo e o comércio internacional envolve cerca de 500 milhões de pessoas em sua gestão, desde o cultivo até o consumo final (BATISTA et al., 2015), valor de vendas no varejo superior a US\$ 22,7 bilhões durante os anos de 2010-11 no mercado mundial (MISHRA & SLATER, 2012).

O café pertence à família Rubiaceae, gênero *Coffea*, no qual já se encontram descritas mais de 90 espécies. Dessas, cerca de 25 são exploradas comercialmente, sendo apenas quatro de importância significativa no mercado mundial, destaque para *Coffea arabica* e *Coffea canephora*, e em menor volume *Coffea liberica* e *Coffea dewevrei* (EMBRAPA, 2004). No Brasil, a variedade *Coffea canephora* foi introduzida no sudeste brasileiro pelo Estado do Espírito Santo, acerca do ano de 1912 (FERRÃO et al., 2017) e atualmente é cultivada em diversos Estados, tendo produção mais expressiva nos Estados do Espírito Santo, Rondônia e Bahia (CONAB, 2019). Essa variedade pode ser agrupada em dois grandes grupos: o café robusta, originário de regiões de temperaturas relativamente mais amenas e úmidas, e café kouillou, também conhecido como café Conilon, originado em regiões mais quentes e secas (CAVATTE, 2007).

Atualmente no Espírito Santo, maior produtor brasileiro de *Coffea canephora*, essa variedade apresenta grande variabilidade genética em produtividade (EMBRAPA, 2004), fator que contribui diretamente para o processo de alogamia entre plantas, e o surgimento de clones com comportamento e características bem específicas, fator que gera pesquisa sobre a necessidade desses novos indivíduos a fatores relacionados à nutrição, resistência a pragas e doenças, e necessidade hídrica.

O Espírito Santo responde entre 75 e 78% da produção nacional. É responsável por até 20% da produção do café robusta do mundo (INCAPER, 2015), portanto variações produtivas no Estado influenciam diretamente o cenário nacional e internacional (CONAB, 2017). O café conilon é a principal fonte de renda em 80% das propriedades rurais capixabas localizadas em

terras quentes, totalizando 283 mil hectares plantados, sendo 40 mil propriedades rurais em 63 municípios, com 78 mil famílias produtoras. O café conilon gera 250 mil empregos diretos e indiretos respondendo por 35% do PIB Agrícola (INCAPER, 2015).

Os maiores produtores de café conilon do Espírito Santo são os municípios: Jaguaré, Vila Valério, Nova Venécia, Sooretama, Linhares, Rio Bananal, São Mateus, Pinheiros, Governador Lindenberg, Boa Esperança, Vila Pavão, São Gabriel da Palha, Colatina e Marilândia (INCAPER, 2015).

Sabendo da importante função socioeconômica do café conilon no Estado, O Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER) tem avançado continuamente em pesquisas para renovação e melhoramento de lavouras. O Instituto vem desenvolvendo um programa de pesquisa na área de melhoramento genético desde 1985 (INCAPER, 2012). Uma das conquistas alcançadas por esse programa foi a obtenção da variedade 'ES8122'- Jequitibá que é formada pelo agrupamento de nove clones compatíveis e de maturação intermediária, com colheita concentrada no mês de junho, que apresenta uma produtividade média de 88,75 sacas por hectare, boa qualidade na bebida e tolerante ao déficit hídrico (FERRÃO et al., 2013).

2.2 DÉFICIT HÍDRICO E O NOVO CENÁRIO DE MUDANÇAS

A baixa disponibilidade hídrica tem sido um dos grandes problemas da agricultura mundial (SHAO et al., 2008). Entre os vários fatores limitantes da produção vegetal, o déficit hídrico ocupa posição de destaque, pois além de afetar as relações hídricas nas plantas, alternando-lhes o metabolismo, é fenômeno que ocorre em grandes extensões de áreas cultiváveis (NOGUEIRA et al., 2001).

Nos últimos anos, as irregularidades pluviométricas ocasionaram uma prolongada crise hídrica no Estado do Espírito Santo, resultando esgotamento das barragens, rios e córregos e a proibição do uso da irrigação, causando estresse nas plantas que em alguns casos foram recepadas ou arrancadas (CONAB, 2017), sendo a produção de café a cada ano mais ameaçada pelo aumento dessa variabilidade climática (PADOVAN et al., 2018).

Entre os desafios das mudanças climáticas está a adaptação ao sistema produtivo sob uma possível alteração da disponibilidade de água e em função das demandas na agricultura. O aumento na frequência e na intensidade de períodos de seca, associados a altas temperaturas, é esperado em futuro próximo, como consequência das mudanças climáticas, causando perdas

substanciais em áreas agrícolas (ARRUDA et al., 2015). Torna-se necessária a otimização da eficiência no uso da água na produção agrícola, a qual ainda é um dos principais desafios mundiais. Práticas de irrigação mais eficientes podem reduzir o volume de água aplicado aos campos agrícolas em 30-70% e pode aumentar o rendimento das colheitas de 20 a 90% (SACCON, 2018).

Embora a produção cafeeira seja fortemente afetada pela seca, a maior parte dos cultivos está em regiões propensas à seca, consideradas zonas marginais para o seu crescimento e produção (DaMATTA & RAMALHO, 2006; ARAUJO et al., 2011; SILVA et al., 2013), propensas aos efeitos do déficit hídrico no solo.

Esse fenômeno ocorre com frequência durante o ciclo de desenvolvimento do cafeeiro (RODRIGUES et al., 2013) e pode ser considerado como principal estresse abiótico capaz de afetar o crescimento e produção (DaMATTA & RAMALHO, 2006; ARAUJO et al., 2011; COSTA, 2016) pois impõe restrições nas taxas de assimilação de CO₂, transpiração e na condutância estomática (RENA & MAESTRI, 2000), conseqüentemente, há redução nas taxas fotossintéticas, reduzindo acúmulo de massa nas plantas.

Segundo Peloso et al. (2017), em condições mais severas de déficit hídrico, reduções nas taxas fotossintéticas podem ocorrer devido à inibição de processos metabólicos específicos como a fotofosforilação, a capacidade de regeneração e redução de atividade da ribulose 1,5 bifosfato carboxilase oxigenase (Rubisco) e de outras enzimas envolvidas no ciclo de Calvin (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Além disso, a exposição ao déficit hídrico poderá ocasionar desbalanço entre a absorção e a utilização da energia luminosa nos cloroplastos (PELOSO et al., 2017). Tal desbalanço pode causar um expressivo aumento na produção de espécies reativas de oxigênio, as quais estão associadas a diversos danos celulares, tais como a oxidação de lipídeos, proteínas e ácidos nucleicos, o que, em última instância, pode causar a morte do tecido vegetal (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O conhecimento das relações entre as tensões de água no solo e seus efeitos sobre o desenvolvimento da planta é de extrema importância para o entendimento das respostas das culturas ao estresse hídrico (RODRIGUES et al., 2013), principalmente o estudo empregado sobre clones de uma variedade pois a estratégia adotada pelas plantas para minimizar os danos provocados pela deficiência hídrica envolve ações complexas relacionadas à sensibilidade e à tolerância a outros estresses, o que pode variar entre os genótipos (CHAVES et al., 2002; ARRUDA et al., 2015).

2.3 AGRICULTURA IRRIGADA

A intensificação da prática da irrigação configura uma opção estratégica para aumentar a oferta de produtos e melhorar os níveis de produtividade (LIMA, FERREIRA & CHRISTOFIDIS, 1999). A irrigação tem sido fator fundamental para o sucesso na produção, sendo o cultivo do café Conilon irrigado no Norte Capixaba destaque na produção agrícola nacional, uma das principais fontes de renda e emprego (BONOMO et al., 2013). Estima-se que no Estado, cerca de 70% das lavouras de café Conilon são conduzidas com irrigação (INCAPER, 2015).

Em razão das condições de distribuição irregular das chuvas no Espírito Santo, constata-se ocorrência de elevados déficits hídricos (PEZZOPANE et al., 2010). Os períodos de seca podem diminuir o rendimento do café, tornando a produção cada vez mais dependente da complementação hídrica (PIMENTEL et al., 2010), assumindo papel primordial em regiões com déficit hídrico, resultando em aumento da produtividade e do valor da produção e diminuindo a pressão pela incorporação de novas áreas (ANA, 2015).

A irrigação atualmente torna-se um recurso viável e indispensável na agricultura moderna (CASTANHEIRA et al., 2013; RIBEIRO et al., 2018). Porém, o uso inadequado dos recursos hídricos na agricultura visando altas produtividades é um dos fatores que tem contribuído para o desperdício da água (BIZARI et al., 2009), aumentando os custos de produção, e prejuízos ambientais pelo comprometimento da disponibilidade e da qualidade da água (PEREIRA, 2015). Assim, melhorias no uso da água devem ser um alvo importante para aumentar o rendimento do café em ambientes com água limitada (BLUM, 2005; SILVA et al., 2013).

O emprego da técnica deve ser aliado ao manejo da irrigação para resultados satisfatórios. O manejo da irrigação consiste na aplicação da quantidade necessária de água às plantas no momento correto, constitui-se como uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental numa atividade agrícola irrigada, proporcionando economia de água, energia, aumento da produtividade da cultura e melhoria na qualidade do produto (BONOMO et al., 2013).

Por não adotar um método de controle da irrigação, tem-se como resultado irrigação em excesso, que tem como consequência o desperdício de energia e de água, ou a falta de água nas plantas, promovendo estresse hídrico (LIMA, FERREIRA & CHRISTOFIDIS, 1999; PEREIRA, 2015). Segundo estudo realizado pela Companhia Energética de Minas Gerais, CEMIG, citado por Lima, Ferreira e Christofidis (1999), se a irrigação fosse utilizada de forma racional, aproximadamente 20% da água e 30% da energia consumidas seriam

economizadas; sendo 20% da energia economizada devido à aplicação desnecessária da água e 10% devido ao redimensionamento e otimização dos equipamentos utilizados para a irrigação.

A melhoria da eficiência da irrigação deve atender a uma análise holística incorporada através da consideração de diversos fatores que podem influenciar na forma como a água é usada, sejam eles técnicos, agronômicos, econômicos, políticos, sociais ou ambientais (FRIZZONE, 2007), proporcionando o uso criterioso da irrigação.

Para o planejamento e gerenciamento eficaz da água, requer-se um conhecimento profundo dos cultivos para possibilitar soluções eficientes (SACCON, 2018). Conhecer a necessidade hídrica da cultura, para aplicar água na quantidade certa e no momento certo, torna-se a chave para aumentar a eficiência do uso da água na agricultura, sendo a técnica do manejo de irrigação um método essencial e que deve ser otimizado para evitar desperdício de recursos hídricos importantes e por vezes limitados (SACCON, 2018).

2.4 MANEJO DA UMIDADE DO SOLO PELA TÉCNICA DA REFLECTOMETRIA NO DOMÍNIO DO TEMPO (TDR)

Existem diferentes procedimentos que podem ser adotados como critérios apropriados para realização do manejo da água de irrigação (MARTINS et al., 2007). O monitoramento da umidade do solo pode ser realizado por métodos considerados diretos (gravimétrico) e os indiretos que estimam o teor de água no solo a partir de propriedades físicas do solo (SOUZA et al., 2016), como é o caso da técnica da reflectometria no domínio do tempo (TDR), a qual tem sido muito utilizada pois apresenta-se como um método preciso, com exatidão, não-destrutivo e com possibilidade de automação dos dados (COELHO et al., 2006; ZANETTI et al., 2015).

Essa técnica surge como uma alternativa prática e moderna para o campo, pois contempla grande parte das características desejáveis para um equipamento que monitora a água no solo. Atualmente o equipamento é composto por um testador de cabo, hastes condutoras (sonda de TDR) e, para a leitura de diversas sondas, os dados podem ser adquiridos através de um multiplexador (SOUZA et al., 2006).

Segundo Santos, 2005; Silva et al., 2012 os estudos relacionados aos seus métodos de funcionamento começaram a partir de 1980, com o surgimento de vários métodos baseados em respostas às propriedades eletromagnéticas do solo (EM) como alternativa à medição

direta do teor de água do solo (θ) com as publicações de (TOPP, DAVIS & ANNAN, 1980). O princípio de funcionamento desse método baseia-se no tempo de percurso de um pulso eletromagnético entre as hastes de uma sonda inserida no solo, o qual é dependente da constante dielétrica do solo (SANTOS et al., 2012; BATISTA et al., 2016; GAVA, SILVA, & BAIIO, 2016), quanto maior o tempo de deslocamento das ondas, maior será a constante dielétrica relativa aparente do solo (TOMMASELLI & BACCHI, 2001). O fenômeno ocorre em razão de mudanças na permissividade aparente ou na constante dielétrica (ϵ_a) do solo (EVETT, TOLK & HOWELL, 2006), o que possibilita a estimativa do θ pela medição da ϵ_a (TOPP, DAVIS & ANNAN, 1980).

A constante dielétrica é uma medida da habilidade de um material não condutor em transmitir pulsos ou ondas eletromagnéticas de alta frequência (SANTOS, 2005). Essa característica do solo é determinada pela média ponderada das constantes dielétricas das fases sólida, líquida e gasosa do solo da matriz solo (SOUZA et al., 2006), que variam entre 1 e 81. De acordo com Souza e Matsura (2002), a água tem constante dielétrica de aproximadamente 81, o valor dessa constante do ar é igual a 1 e da fase sólida, sendo mineral e orgânica, varia de 3 a 7. Devido à grande diferença entre os valores das constantes, de acordo com o aumento do conteúdo de água no solo, maior será o valor da constante dielétrica, ou seja, maior será o deslocamento do pulso aplicado, portanto, uma pequena variação na umidade volumétrica do solo ocasionará uma alteração considerável na constante dielétrica (EMBRAPA, 2004).

A partir dos valores da constante dielétrica do solo, correlaciona-se aos dados de conteúdo de água por meio de curvas de calibração obtidas a partir dos dados de campo ou laboratório (ALMEIDA et al., 2012), juntamente com as informações da curva de retenção de água no solo.

As vantagens inerentes da técnica da TDR como a precisão, resposta rápida, método não destrutivo, a não utilização de radiação ionizante, possibilidade de automação e acoplamento de dispositivos multiplicadores de leituras, várias medições simultâneas e do armazenamento contínuo de dados por longos períodos são justificativas importantes para a adoção cada vez maior dessa técnica em substituição a outros métodos (COELHO & OR, 1996; STACHERER, KOENIGER & SCHUHMANN, 2009).

Adoção do equipamento tem sido considerado referência de comparação em estudos de diferentes métodos de monitoramento da umidade do solo, como disposto por Nunes et al. (2015).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo “CCAUE-UFES”, localizado no município de Alegre-ES, latitude 20°45' Sul, longitude 41°32' Oeste e altitude de 268,0 m. O clima da região é do tipo “Aw” com estação seca no inverno, de acordo com a classificação de Köppen. A temperatura anual média é de 23°C e a precipitação anual em torno de 1200 mm.

O solo utilizado foi classificado como um Latossolo Vermelho-Amarelo, de textura média, de acordo com o triângulo textural da EMBRAPA, coletado a uma profundidade de 0,00 – 0,30 m, na área experimental do CCAUE-UFES, o qual foi destorroado, passado em peneira de 4 mm e homogeneizado. Posteriormente, foram retiradas amostras e encaminhadas para o laboratório de solos da universidade, onde realizou-se análises físicas e químicas (Tabela 01) e físico-hídricas (Tabela 02), segundo a metodologia de Teixeira et al. (2017).

Tabela 01. Atributos físico-químicos do Latossolo utilizado como substrato.

pH	P	K	Ca	Mg	Al	SB	CTC	V	MO
	mg.dm ⁻³		cmol _c dm ⁻³				%	dag.kg ⁻¹	
6,45	20,14	151,00	3,3 9	1,37	0,00	5,19	5,85	88,71	0,18

Extração e determinação: pH em água (1:2,5); P, K, Na: extrator Mehlich⁻¹ e determinação por colorimetria; Ca, Mg, Al: extrator KCl 1mol L⁻¹ e determinação por espectrometria de absorção atômica; H+Al: extrator de Acetato de Cálcio 0,5 mol L⁻¹; Matéria Orgânica: oxidação de carbono via úmida com dicromato de potássio em meio ácido (H₂SO₄).

Tabela 02. Análise físico-hídrica do Latossolo utilizado como substrato.

Profundidade (m)	Teor de água (m ³ .m ⁻³)			Distribuição granulométrica (%)			Densidade do Solo (g.cm ⁻³)	Densidade de partícula (g.cm ⁻³)
	Cc	Pm	Ad	Areia	Silte	Argila		
0 - 0,3	0,25	0,12	0,13	63,00	9,00	28,00	1,31	2,67

Para física análise física agitação lenta a 50rpm por 16horas, com agitador tipo wagner; dispersante químico: NaOH 0,1 mol L⁻¹ e determinação das frações silte e argila pelo método da pipeta. Para valores hídricos utilização do extrator de placa porosa. Cc – capacidade de campo; Pm – ponto de murcha; Ad – água disponível.

Com os resultados obtidos efetuou-se a adubação de plantio e cobertura de acordo a metodologia proposta por Novais, Neves e Barros (1991) para ambiente protegido. Não houve necessidade de calagem.

A curva de retenção de água foi ajustada utilizando o modelo proposto por Van Genuchten (1980) disposto na Equação 1.

$$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \left[\frac{1}{1 + (\alpha \Psi_m)^n} \right]^{1 - \left(\frac{1}{n} \right)} \quad (1)$$

em que: θ - umidade volumétrica; Ψ_m - potencial matricial; θ_r e θ_s respectivamente a umidade volumétrica residual e na saturação; n e α - parâmetros de ajuste.

A elaboração da curva de retenção de água no solo (Figura 01) foi realizada após a determinação dos coeficientes da Equação 1, e inserção dos potenciais preconizados em literatura. A partir desses dados, foi possível determinação do volume de água no solo para o respectivo potencial pré-estabelecido nos níveis da subparcela. Os valores estão dispostos na Tabela 03.

Tabela 03. Coeficientes de umidade volumétrica residual (θ_r), umidade volumétrica na saturação (θ_s), e os parâmetros de ajuste da equação (n e α), e volume de água no solo correspondente às das tensões matricial em kPa e log10.

θ_r	θ_s		α		n		
0,10004	0,50671		0,76280		1,47472		
ψ_m (kPa)	- 0	- 10	- 30	- 60	- 100	- 300	- 1500
Conteúdo de água (m^3/m^3)	0,506	0,253	0,183	0,166	0,151	0,121	0,118
pF = log ₁₀ cm H ₂ O	0	2,01	2,49	2,79	3,01	3,49	4,18

*Os parâmetros da equação foram obtidos a partir dos dados de potencial matricial em kPa. Pelo método do extrator de placa porosa (Extrator de Richard).

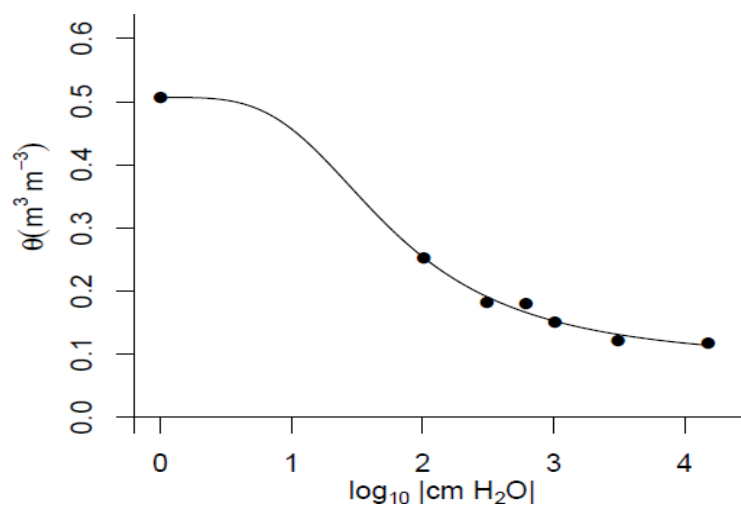


Figura 01. Curva de retenção de água do Latossolo Vermelho-Amarelo, utilizado como substrato.

Foram utilizadas mudas de cafeeiro conilon (*Coffea canephora*) referente a oito clones que compõem a cultivar 'ES8122'-Jequitibá adquiridas de viveiro certificado e idôneo, isentas de patógenos e apresentando um padrão de três pares de folhas.

As mudas foram plantadas em vasos contendo 12 litros de solo. Os vasos foram dispostos em bancada metálica (3,0 x 0,80 m) com 1 metro de altura e inseridas as etiquetas de identificação. A cada quinze dias realizou-se a casualização entre as parcelas, visando minimizar quaisquer possíveis interferências do ambiente.

Durante os trinta primeiros dias após transplante das mudas, efetuou-se reposição de água diária para que todas as unidades experimentais permanecessem com a umidade do solo próxima à capacidade de campo (10 kPa), garantindo, dessa maneira, a todas as parcelas mesmas condições para seu estabelecimento no solo. Realizou-se uma avaliação inicial das variáveis biométricas ($AV_{inicial}$) ao 30º dia, marcando o início da aplicação dos regimes hídricos e a determinação das condições iniciais de cada clone. Foram avaliadas três repetições de cada clone, sendo esse corte realizado com objetivo de gerar informação sobre os valores médios iniciais de cada clone, uma vez que não havia estabelecimento de tensões de água no solo durante este período.



Figura 02. Procedimento de identificação das parcelas experimentais.

O experimento foi montado no esquema de parcelas subdivididas 8 x 4 x 3, considerando-se efeito nas parcelas, constituídos pelos clones (C1, C2, C3, C4, C5, C6, C8 e C9), quatro efeitos nas subparcela, representados pela tensão de água no solo ($T_{30}= 30$; $T_{60}= 60$; $T_{100}= 100$ e $T_{200}= 200$ kPa), e três efeitos na subsubparcela, caracterizados pelas épocas de

avaliação (EP₃₀= 30, EP₆₀= 60 e EP₉₀= 90) escalonados em função dos dias após indução dos regimes hídricos, em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

Após a indução dos regimes hídricos, procedeu-se com avaliações em um intervalo equidistante de 30 dias, marcando o fim de cada época. Nesse momento efetuou-se a medição das variáveis biométricas, seguida pelo corte de três repetições de cada tratamento, totalizando a retirada de 96 parcelas experimentais, visando obtenção do acúmulo de massa seca das plantas.

O monitoramento umidade do solo foi realizado com o medidor Field Scout modelo TM TDR₃₀₀. Procedeu-se a calibração do equipamento, a fim de ajustar a leitura do equipamento ao tipo de solo utilizado, sendo processo fundamental para minimizar erros e garantir leituras reais da umidade (SOUZA et al., 2013; GAVA; SILVA & BAILO, 2016), uma vez que a equação de calibração varia de solo para solo (SILVA et al., 2012; BATISTA et al., 2016).

No processo de calibração, foram utilizados cinco vasos com volume de 12 litros preenchidos com o solo. Por meio de irrigação foram fornecidos diferentes volumes de água para cada vaso, forçando a formação de diferentes gradientes de umidade. Após o período de 24h (permitindo a livre drenagem), foram feitas cinco leituras com a sonda TDR de 20 cm em cada vaso, e simultaneamente, foram coletadas três amostras de solo na mesma profundidade. As amostras foram acondicionadas em recipiente metálico com tampa, destinadas à laboratório para determinação de umidade atual pelo método padrão gravimétrico (TEIXEIRA et al., 2017).

A umidade do solo obtida foi correlacionada com a leitura com TDR, possibilitando um ajuste por modelo de regressão para confecção da curva de calibração (Figura 03), como aplicado por diversos autores (SANTOS, 2005; SOUZA et al., 2013; PRIMO et al., 2015).

Para aferir a viabilidade do modelo e validação dos resultados, foram considerados os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), índice de Wilmott (d) (WILLMOTT et al., 1985) como indicador de exatidão e indicador de precisão, indicador de confiança (c) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997). Todos os valores obtidos indicam que o modelo tem boa representatividade, atende requisitos de exatidão e precisão, fornecendo resultados satisfatórios adequados para o uso.

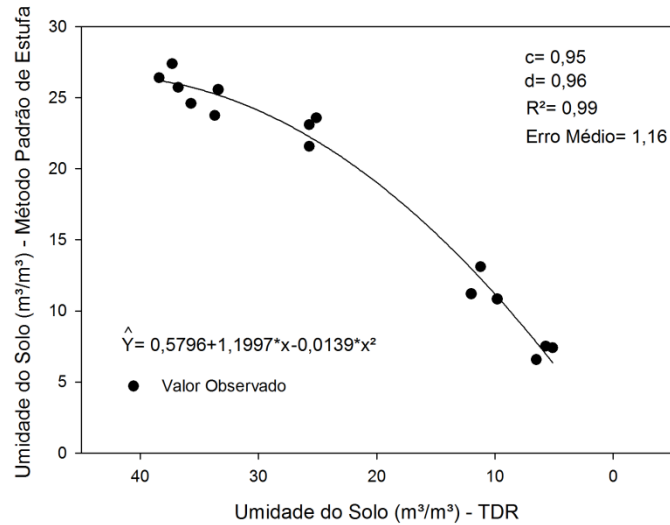


Figura 03. Curva de calibração do aparelho: correlação entre umidade do solo pelo método padrão gravimétrico em função método (TDR).

As leituras com o TDR foram realizadas diariamente às 17 h. Desse modo, sempre que a umidade do solo atingiu a umidade correspondente à tensão estabelecida na subparcela, a irrigação foi realizada manualmente com o auxílio de um béquero graduado com volume de água necessário para que o solo retornasse à umidade correspondente a tensão de 10kPa, arbitrado como capacidade de campo. A quantidade de água necessária foi determinada de acordo com Bernardo; Soares & Mantovani (2009).



Figura 04. Monitoramento da umidade do solo pelo método da reflectometria no domínio do tempo (TDR).

As variáveis analisadas ao final de cada época foram: ALT- altura das plantas (cm), que compreende o comprimento da haste principal do nível do solo até a gema apical; AF - área foliar (cm²), determinada por leitor de área foliar de bancada modelo (LI-3100); consumo de

água (L), determinada pela soma do total de água aplicada na irrigação durante o experimento; MST- massa seca total (g); MSPA – massa seca da parte aérea; MSR – massa seca da raiz.

Foi considerada como MSPA (massa seca das folhas + massa seca dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos). As raízes foram lavadas com auxílio de peneira de 2mm, e as partes vegetais foram acondicionadas em sacolas de papel e posteriormente secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingir o peso constante. Posteriormente, os materiais foram pesados em balança de precisão para quantificação da matéria seca. Em função dos resultados obtidos determinou-se a relação parte aérea/raiz (P/R),

Para a avaliação do progresso no acúmulo de biomassa pelas plantas, procedeu-se à análise da taxa de crescimento relativo. A TCR expressa o incremento na massa de matéria seca, por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (REIS & MULLER, 1979). Os resultados foram obtidos conforme a metodologia descrita por (BENINCASA, 2003), disposta na Equação 2.

$$TCR = \frac{\ln \Delta_m}{\Delta_t} \quad (2)$$

em que: TCR – Taxa de crescimento relativo ($g \ g^{-1} \cdot \text{semana}^{-1}$); onde ln - logaritmo neperiano; Δ_m - acúmulo de biomassa entre avaliação atual e anterior (g); Δ_t o intervalo de tempo entre a última e atual avaliação (semanas).

Devido à crescente preocupação com a escassez de água e necessidade no aumento do processo produtivo, avaliação da eficiência no uso água (EUA) é fundamental para entender a demanda hídrica das plantas. A estimativa foi adaptada e realizada, conforme preconizado por Carvalho (2008) e Vicente et al. (2015), pela razão entre a quantidade total de biomassa produzida em (g) pela quantidade total de água aplicada (L), conforme a equação 3.

$$EUA = \frac{MST}{VT} \quad (3)$$

em que: EUA – Eficiência no uso da água ($g \ L^{-1}$); MST – Massa seca total (g); VT – Volume total de água fornecido pela irrigação (L).

Durante todo o experimento foi realizado o acompanhamento fitossanitário visando impedir a interferência de fatores bióticos nos resultados. Foi instalado um termômetro digital para coleta dos dados referentes à temperatura (máxima, média e mínima). O

acompanhamento das variáveis umidade relativa do ar e radiação solar global foi obtido pelos dados da estação meteorológica do INMET localizada na área experimental do campus.

Os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$), na qual posteriormente foi utilizado o teste de Skot-Knott ($p \leq 0,05$) para os fatores qualitativos, e análise de regressão para os fatores quantitativos. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de student, ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 05 dispõem-se as representações dos valores médios de temperatura, umidade relativa do ar e radiação solar global, coletados durante o período de condução do experimento.

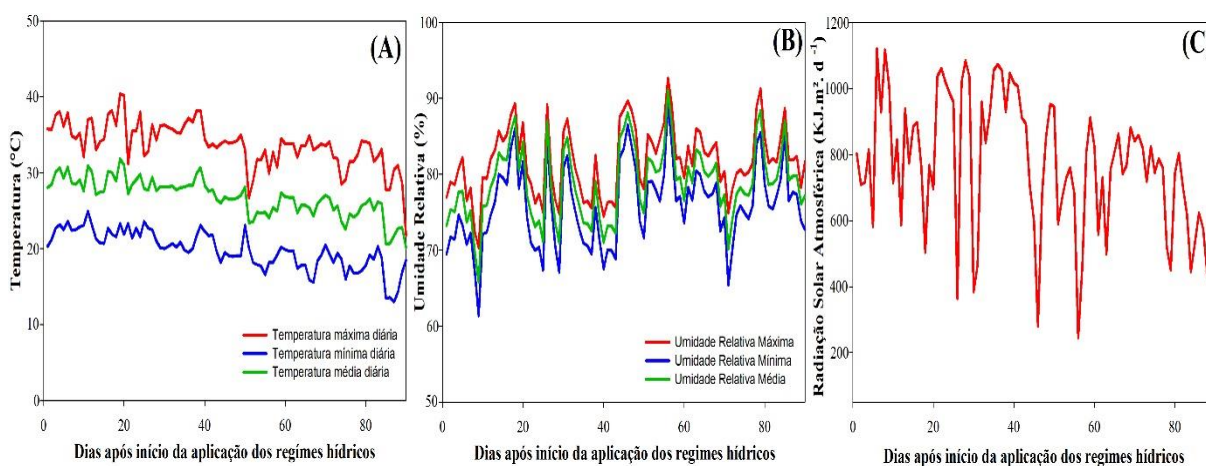


Figura 05. Monitoramento dos valores diários de máxima, mínima e média da Temperatura (Figura 5A) e umidade relativa do ar (5B), e valores médios diários de radiação solar atmosférica (5C) em função dos dias pós-plantio das mudas do cafeeiro conilon.

Para umidade relativa do ar (Figura 5B), os valores médios diário permaneceram oscilando no intervalo de 65 a 90%, sendo os valores mais recorrentes na faixa entre 70 e 85%.

Para temperatura e radiação solar global, ocorreram reduções gradativas nos valores médios diários, mediante os meses de janeiro e junho, em função das estações predominantes. Os valores extremos registrados foram 40,4 e 13°C para temperatura e 1119,8479 $\text{Kj m}^2 \text{d}^{-1}$ a 133,16 $\text{Kj m}^2 \text{d}^{-1}$, para radiação.

Os valores máximos de radiação e temperatura foram obtidos nos meses de janeiro e fevereiro. Nesse período registrou-se valores de temperatura máxima, média e mínima oscilando entre 35,0 e 41°C; 26 e 30°C e 23 e 20°C respectivamente. Os dados médios registrados na etapa final de experimento, compreendendo mês de maio, foram relativamente menores, os quais constata-se para temperatura máxima, média e mínima valores oscilando entre 27 e 31°C; 24 e 26°C e 13 e 20°C respectivamente. Para radiação solar atmosférica, valores no verão oscilavam entre 1100 $\text{Kj m}^2 \text{d}^{-1}$ e 800 $\text{Kj m}^2 \text{d}^{-1}$ e decaíram durante o inverno para 700 $\text{Kj m}^2 \text{d}^{-1}$ a 300 $\text{Kj m}^2 \text{d}^{-1}$.

Devido ao crescimento vegetativo do cafeeiro ser complexo e possuir uma periodicidade estacional associada a diversos fatores, tais como, temperatura, fotoperíodo, irradiância, suprimento de água (RENA & DaMATTA, 2002), é imprescindível para interpretação dos resultados a análise das possíveis interferências abióticas.

Nas regiões cafeeiras do Brasil, o período de maior crescimento vegetativo do café ocorre entre setembro e março, pois possuem temperaturas mais altas, fotoperíodos maiores e coincidem com a época chuvosa (PEREIRA, 2015), características predominantes no sul do Estado do Espírito Santo onde Amaral et al. (2007) verificaram que maiores taxas de crescimento coincidiram com temperaturas mínimas superiores de 17,5 °C, temperaturas médias situadas entre 22 e 26 °C e temperaturas máximas em torno de 30 °C.

A partir das variáveis respostas, aferiu-se um crescimento positivo ao longo do tempo em todos os clones. Independente da tensão de água no solo aplicada, a média final (EP_{90}) foi sempre superior à média da avaliação do padrão inicial ($AV_{inicial}$), não havendo mortalidade de plantas. Esse fato demonstra tolerância do cafeeiro conilon para manutenção do crescimento vegetativo a maiores valores de tensão de água no solo.

Foram considerados como base de observação os padrões no comportamento dos clones sob uma mesma tensão de água no solo, uma vez que ocorreram pequenas diferenciações estatísticas entre épocas, associadas principalmente ao caráter métrico. Tais variações decorrem de erros sistemático-aleatórios, provenientes do processo de casualização das plantas para composição das subsubparcelas, uma vez que mudas de um mesmo agrupamento genotípico do cafeeiro conilon clonal podem apresentar diferenças iniciais entre si, visualmente imperceptíveis, podendo possibilitar a formação ao acaso de agrupamentos heterogêneos entre clones e épocas.

Para obtenção do padrão inicial das plantas, realizou-se uma primeira avaliação ($AV_{inicial}$ - Figura 6A), marcando o início da aplicação dos regimes hídricos. Nesse momento as médias entre o mesmo clone foram estatisticamente iguais para todos os níveis de tensão de água no solo. Resultados estatisticamente diferentes foram obtidos entre os clones, processo decorrente aos diferentes materiais genéticos presentes no agrupamento.

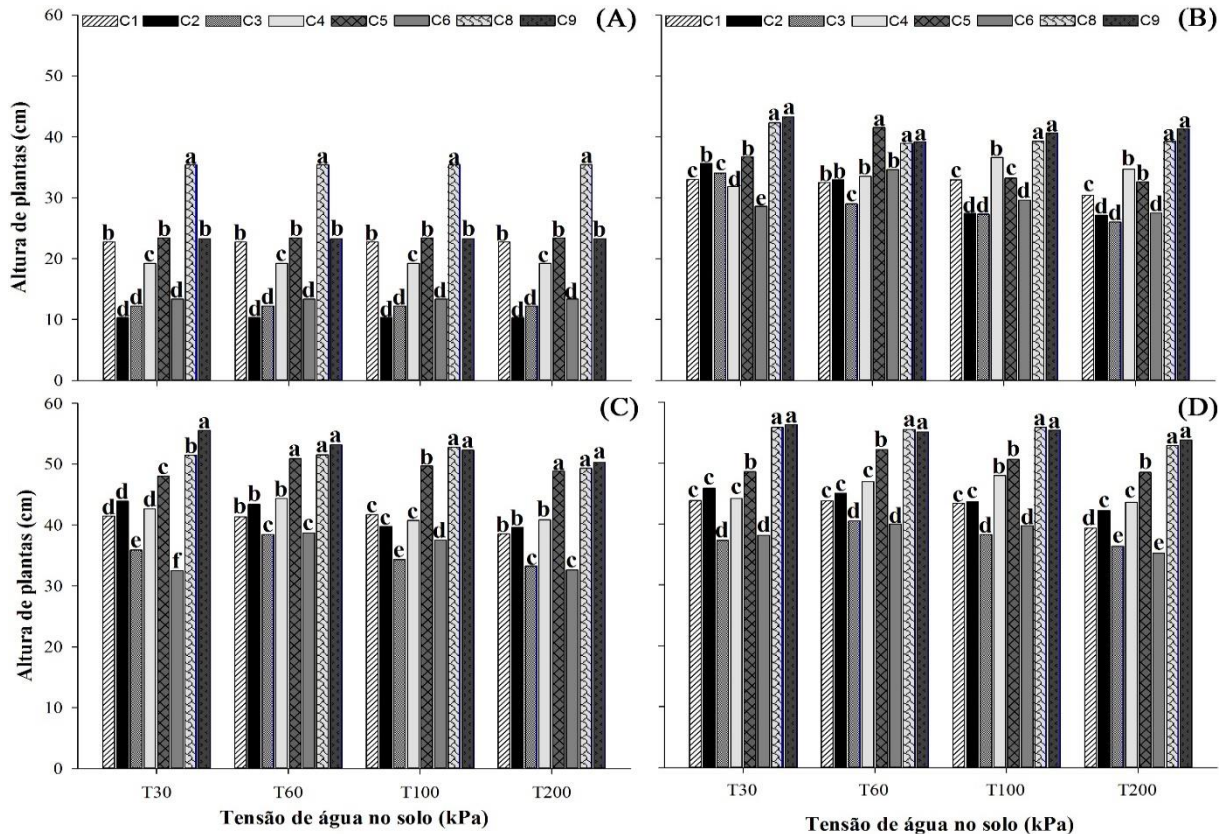


Figura 06. Altura de plantas (cm) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar 'ES8122' – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV Inicial; (B) EP₃₀, (C) EP₆₀ e (D) EP₉₀ dias após início dos regimes hídricos.

Na avaliação inicial (Figura 6A), o clone C8 diferiu estatisticamente dos demais em todas tensões de água no solo. Os clones C1, C5 e C9 formaram um agrupamento de crescimento inicial intermediário, seguidos por C4, formando o agrupamento com média estatisticamente menor os clones C2, C3 e C6.

Como resultado final, em EP₉₀, os clones C8 e C9 foram estatisticamente superiores a todos os clones, independente da tensão fornecida. Similarmente o clone C5 apresentou a segunda maior média; C3 e C6 apresentaram valores estatisticamente menores independentemente da tensão.

Os clones C1, C2 e C4 formam o agrupamento de crescimento intermediário, apresentando resultados estatisticamente iguais em T₃₀ e T₆₀. Alterações ocorrem de acordo com o acréscimo da tensão, com maior crescimento de C4 sob T₁₀₀ e menor altura de C1 em T₂₀₀.

Na Figura 07, dispõe-se a interação das variáveis quantitativas sob o comportamento da variável resposta altura de plantas e na Tabela 04 as equações estimadas para representação dos fenômenos. Reduções no potencial de crescimento em função da diminuição do conteúdo

de água no solo foram observadas, obtendo em T₃₀ as maiores médias de crescimento, exceto para os clones C1, C4 e C6, nos quais as maiores médias estenderam-se até a faixa de T₁₀₀.

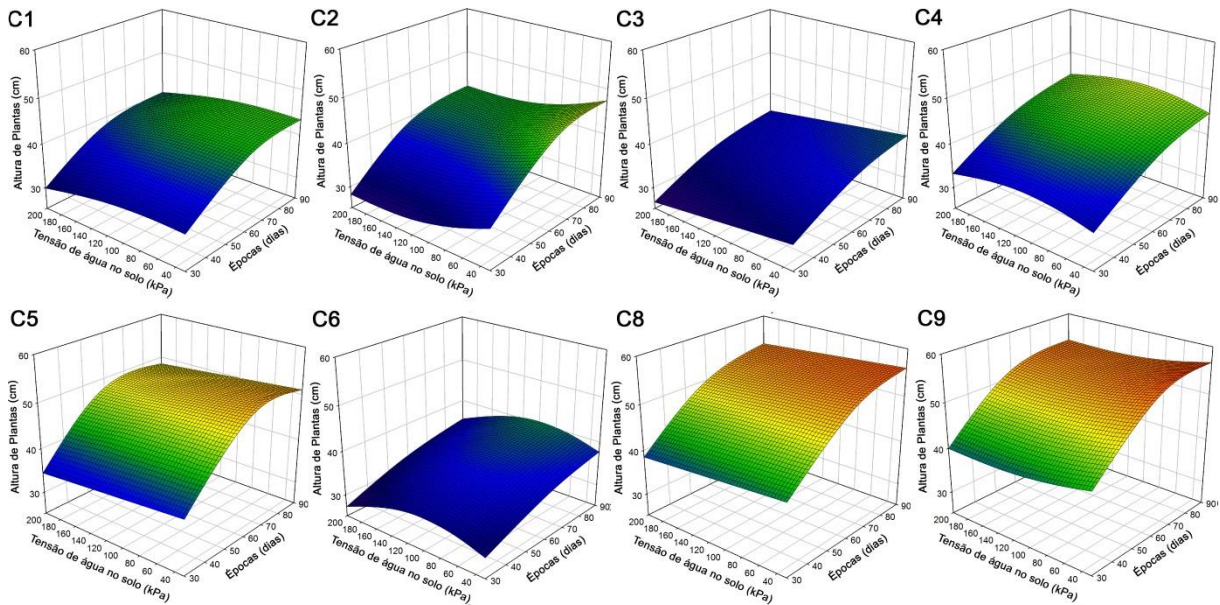


Figura 07. Altura de plantas (cm) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).

Tabela 04. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável altura de plantas.

$$\hat{Y}_{C1} = 17,2570 + 0,0207 * T - 0,0002 * T^2 + 0,6216 * EP - 0,0037 * EP^2; R^2 = 0,99$$

$$\hat{Y}_{C2} = 17,7920 - 0,1095 * T + 0,0003 * T^2 + 0,7796 * EP - 0,0046 * EP^2; R^2 = 0,97$$

$$\hat{Y}_{C3} = 21,3922 - 0,0251 * T + 0,4006 * EP - 0,0021 * EP^2; R^2 = 0,86$$

$$\hat{Y}_{C4} = 18,7818 + 0,0761 * T - 0,0003 * T^2 + 0,4913 * EP - 0,0025 * EP^2; R^2 = 0,93$$

$$\hat{Y}_{C5} = 11,4881 - 0,0155 * T + 1,0810 * EP - 0,0071 * EP^2; R^2 = 0,90$$

$$\hat{Y}_{C6} = 19,1969 + 0,1094 * T - 0,0005 * T^2 + 0,2894 * EP - 0,0013 * EP^2; R^2 = 0,86$$

$$\hat{Y}_{C8} = 22,4729 - 0,0142 * T + 0,7544 * EP - 0,0042 * EP^2; R^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C9} = 23,1836 - 0,0581 * T + 0,0002 * T^2 + 0,8600 * EP - 0,0052 * EP^2; R^2 = 0,97$$

* \hat{Y} = Estimativa quantitativa da variável em estudo; T = Tensão de água no solo (kPa); EP = Épocas após indução dos regimes hídricos; R² = Coeficiente de determinação do modelo

As diferentes respostas refletem mecanismos de adaptação de cada genótipo ao ambiente (NOGUEIRA, 1997), que quando submetido a estresse hídrico, torna-se uma relação bastante dependente da cultivar e da condição ambiental (CLAVEL et al., 2004), também podendo variar entre clones. Entretanto, a identificação dos padrões de crescimento em função da

disponibilidade hídrica é de extrema importância pois possibilita selecionar cultivares adaptadas aos diferentes ambientes de produção, que sejam eficientes no uso da água (OLIVEIRA et al., 2010).

Os dados aplicados ao modelo iniciam-se a partir do trigésimo dia de manutenção dos regimes hídricos (EP₃₀), em função de necessidades das respostas serem condizentes com o efeito da tensão.

Relacionando as informações climáticas aos dados coletados, é possível afirmar influência negativa das variáveis climáticas sob a última época de avaliação, fato que ocorreu nas demais variáveis. Houve estabilização de crescimento, fenômeno que ocorre comumente no cafeeiro, devido à natureza genética de sazonalidade de crescimento vegetativo em função de fatores ambientais (BELAN et al., 2011), sendo preponderante os fatores baixa temperatura e luminosidade (HOOGENBOOM, 2000).

Em EP₃₀ o clone C1 exibiu resultados semelhantes entre tensões, com a maior média ocorrendo em T₆₀, 0,47% superior a T₃₀ (33,03 cm), considerando a tensão padrão de comparação. A partir T₁₀₀ ocorrem reduções, em que a diferença de 0,35% eleva-se para 9,69% em T₂₀₀. Na última época EP₉₀, ocorre menor diferença entre médias em relação a T₃₀ que atinge um valor médio de altura entorno de 43,38 cm, permanecendo 0,26% menor que T₆₀ e superior em 0,26% a T₁₀₀ e 7,37% a T₂₀₀.

As alturas médias em C4 em T₆₀ e T₁₀₀ são de 4,18 e 6,91% respectivamente maiores que T₃₀ (33,25cm), com rendimento em T₂₀₀, em 0,24% a T₃₀. O padrão persiste em EP₉₀ com T₆₀ e T₁₀₀ possuindo as maiores médias de crescimento 3,08 e 5,13% em relação a T₃₀, respectivamente. Em T₂₀₀ valor foi 0,18% menor em relação ao padrão.

Já para C6 os níveis T₆₀ e T₁₀₀ apresentam alturas médias 6,23 e 9,41% superiores a T₃₀ (29,52cm), também com redução de 8,02% quando submetido a T₂₀₀ na primeira avaliação. Ao final do experimento, T₆₀ e T₁₀₀ mantêm-se com médias superiores à T₃₀, 4,88 e 7,37% respectivamente, e T₂₀₀ apresenta valor 6,28% menor.

O clone C2 apresentou a maior sensibilidade a redução de água no solo verificando-se menores alturas quando cultivados sob as tensões de T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀, 7,08; 13,81 e 17,22% em comparação à tensão T₃₀, a qual alcançou altura de 34,01cm. Ao final do experimento em T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀ os respectivos valores foram de 5,07; 9,90 e 12,37% menor em relação a T₃₀.

O clone C3 juntamente com o C2 foram os genótipos com menor crescimento quando submetidos a maiores tensões de água no solo. Apesar de ocorrer redução gradativa em T₆₀ e T₁₀₀ de 2,47 e 5,71%, em T₂₀₀ houve perda de 13,87% em função de T₃₀ (30,78 cm). Para a última época de avaliação os melhores resultados permanecem em T₃₀ (39,80 cm), superior

em 1,90; 4,42 e 10,72% para T_{60} , T_{100} e T_{200} respectivamente.

Os clones C5, C8 e C9 apresentam em EP_{30} comportamento semelhante entre as tensões, com crescimento próximo entre as tensões até T_{100} . Os valores iniciais desses clones foram 37,08; 40,90 e 42,70 cm respectivamente. As diferenças apresentadas em T_{60} (C5 = 1,64; C8 = 1,02; C9 = 2,92%) T_{100} (C5 = 2,91; C8 = 2,42 e C9 = 5,64%) e T_{200} (7,06; 6,13; 6,46%), respectivamente, foram todas menores que T_{30} . O padrão de comportamento estende-se até o final do experimento, atingindo uma diferença em relação ao padrão em T_{60} (C5 = 0,92; C8 = 0,75 e C9 = 2,20%); T_{100} (C5 = 2,13; C8 = 4,26 e C9 = 4,88%) T_{200} (C5 = 5,15; C6 = 4,30 e C9 = 4,88). Esse agrupamento de clones, conjuntamente com C4, foram os que apresentaram maior resistência quando expostos a maiores tensões de água no solo, com menores diferenças entre T_{200} em relação a T_{30} para a variável altura de plantas.

As plantas cultivadas estão expostas constantemente a estresses abióticos que comprometem seu desenvolvimento inicial (ARAÚJO et al., 2011), podendo afetar diferentemente as plantas durante o crescimento vegetativo e reprodutivo (TAIZ et al., 2017). O déficit hídrico tem efeito em diversos processos fisiológicos das plantas, visto que o estresse geralmente aumenta a resistência difusiva ao vapor de água, mediante fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO_2 para a fotossíntese (NASCIMENTO et al., 2015).

Os diferentes graus de tolerância à redução da umidade de água no solo estão associados à adaptação do indivíduo, o qual refere-se a um nível de resistência geneticamente determinado (CAVALCANTE, CAVALLINI & LIMA, 2009) ou induzido por seleção natural. Desta forma, os efeitos do déficit hídrico e suas alterações no comportamento vegetal irão depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (SANTOS & CARLESSO, 1998).

Tensões de água no solo a partir de T_{100} ocasionaram decréscimo de crescimento, estando a isso relacionado alguns fatores desencadeados pela restrição de água na planta, como aumento de síntese de ácido abscísico (ABA) e etileno, inibição da síntese e distribuição de auxina e redução na taxa de fotossíntese (CANTUÁRIO et al., 2015). A diferença nas médias das demais tensões em relação a T_{30} diminuem em função da maturidade das plantas, as quais exibem melhor controle sobre os processos fisiológicos.

Contudo, a tensão de T_{200} não ocasionou uma supressão de forma significativa para redução da pressão de turgor, responsável pela compressão da membrana plasmática contra a parede celular rígida, proporcionando uma força de expansão (TAIZ et al., 2017), permitindo crescimento moderado nesta fase inicial de crescimento.

Médias inferiores de altura de plantas sob baixas tensões podem estar relacionadas à demanda hídrica da planta de cada clone, em que a saturação por água pode afetar o crescimento por limitação de trocas gasosas com a atmosfera, ocasionando alterações no metabolismo das células radiculares (LARCHER, 2000; BATISTA et al., 2008; TAIZ et al., 2017).

Na variável área foliar, observa-se médias estatisticamente superiores nos clones C1 e C4 e estatisticamente iguais para os demais em $AV_{inicial}$ (Figura 8A). Já em EP_{90} , as plantas submetidas a T_{30} e T_{60} apresentaram comportamento mais uniforme entre os clones (Figura 8B). Quanto maior a tensão de água utilizada, maior o contraste entre clones, em função dos diferentes limites de tolerância, obtendo em T_{200} os menores incrementos.

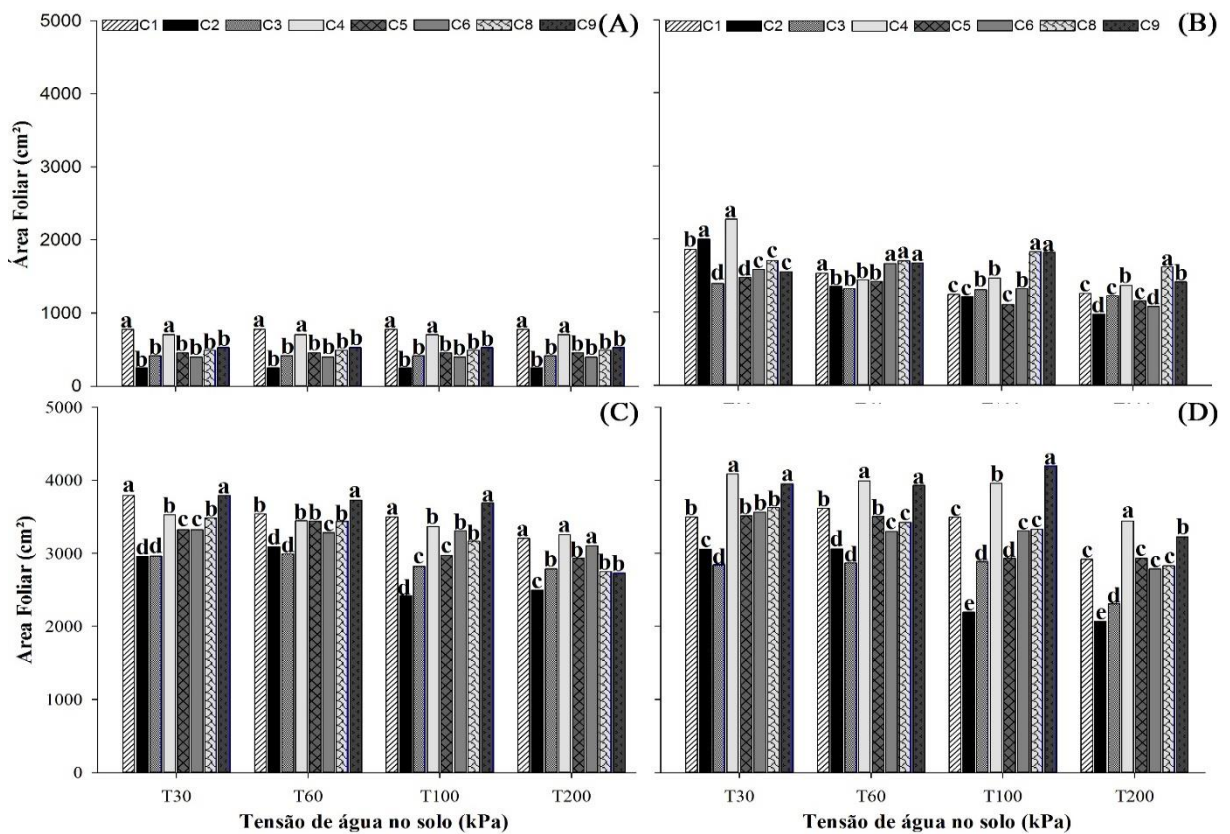


Figura 08. Área Foliar (cm^2) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) $AV_{inicial}$; (B) EP_{30} , (C) EP_{60} e (D) EP_{90} dias após início dos regimes hídricos.

Para o comportamento das plantas em EP_{90} , os clones C1, C2 e C3 mostram-se responsivos sob maior umidade de água no solo e mais sensíveis ao déficit hídrico. Os clones C2 e C3 apresentam os menores valores de área foliar, reforçando a hipótese de limitação em potencial

de crescimento em função do genótipo. Os clones C4 e C9 formam o agrupamento com maior incremento em todas as tensões. Os demais clones C1, C5, C6 e C8 apresentaram variações com aumento da tensão, com comportamento similar entre si.

Condições climáticas nas fases iniciais EP₃₀ e EP₆₀ proporcionaram incremento considerável de área foliar (Figura 09). Contudo, a queda de temperatura e radiação, durante a última fase, ocasionou limitação de crescimento do cafeeiro.

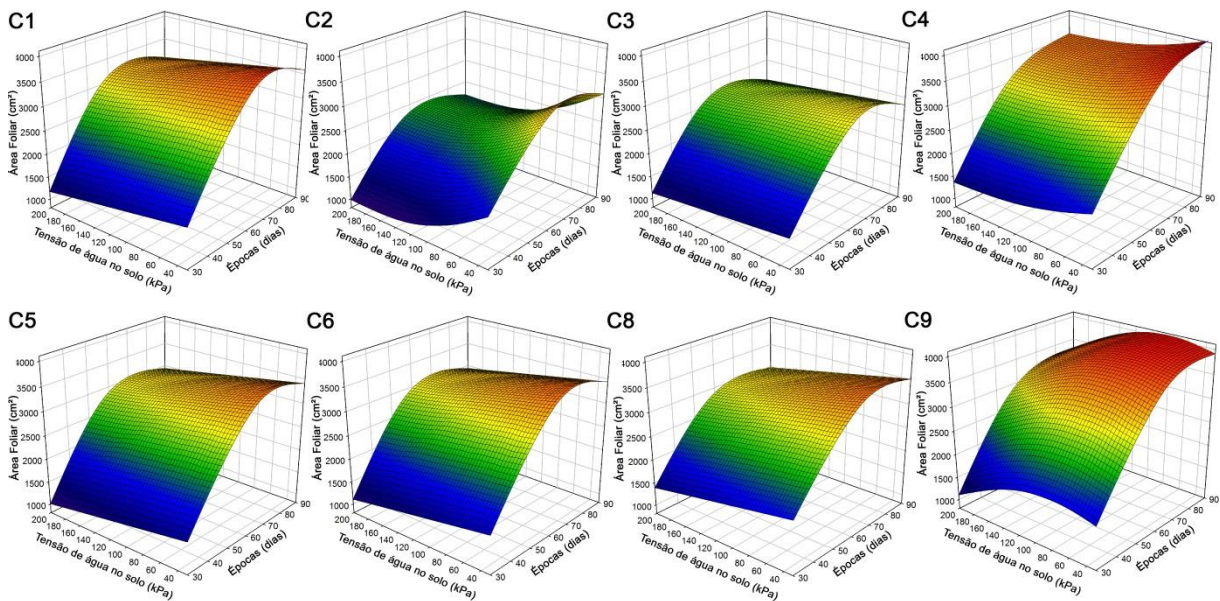


Figura 09. Área Foliar (cm²) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).

Tabela 05. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável área foliar.

$$\hat{Y}_{C1} = -2222,650 - 2,969*T + 166,395*EP - 1,121*EP^2; R^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C2} = -536,005 - 16,545*T + 0,049*T^2 + 120,479*EP - 0,835*EP^2; R^2 = 0,94$$

$$\hat{Y}_{C3} = -1831,320 - 1,836*T + 139,731*EP - 0,968*EP^2; R^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C4} = -909,244 - 8,175*T + 0,021*T^2 + 123,292*EP - 0,717*EP^2; R^2 = 0,97$$

$$\hat{Y}_{C5} = -2142,420 - 2,784*T + 153,809*EP - 1,013*EP^2; R^2 = 0,97$$

$$\hat{Y}_{C6} = -2005,740 - 2,978*T + 154,539*EP - 1,033*EP^2; R^2 = 0,96$$

$$\hat{Y}_{C8} = -875,039 - 3,187*T + 119,997*EP - 0,779*EP^2; R^2 = 0,97$$

$$\hat{Y}_{C9} = -1915,610 + 8,880*T - 0,054*T^2 + 138,787*EP - 0,849*EP^2; R^2 = 0,98$$

* \hat{Y} = Estimativa quantitativa da variável em estudo; T = Tensão de água no solo (kPa); EP = Épocas após indução dos regimes hídricos; R² = Coeficiente de determinação do modelo.

Observa-se que área foliar foi a variável mais sensível aos efeitos do déficit, em que baixas

variações de umidade do solo ocasionaram como resposta imediata a paralização do processo de crescimento foliar.

Em todos os clones, exceto C9, a tensão T₃₀ apresentou resultados de área foliar superiores em comparação aos demais níveis, em virtude da facilidade de extração de água do solo. Esse clone apresentou melhor adaptação na faixa de umidade entre T₆₀ e T₁₀₀, as quais possibilitaram resultados de 7,09 e 7,66% maiores que T₃₀ (3.914,59 cm²), ocorrendo decréscimo quando submetido a T₂₀₀ (35,29%). O comportamento nesse clone persiste até a última época, com T₆₀ e T₁₀₀ novamente apresentando as maiores médias (3,08 e 3,33% maior que T₃₀) e T₂₀₀ diferença de 15,34% em relação a T₃₀.

O clone C3 apresentou com as melhores respostas em T₃₀ (1.434,44 cm²). Esse foi o clone mais resistente ao decréscimo da umidade de água no solo, sendo em T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀, 3,84; 8,96 e 21,76% menores. Em EP₉₀ os valores foram de 1,93; 4,51 e 10,95% menores em relação a T₃₀ para as tensões de T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀, respectivamente.

Novamente, C2 foi o clone suscetível à redução da umidade, apresentando diferenças de 19,42; 37,99 e 47,80% menores em T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀, respectivamente, em relação a T₃₀ (1.874,31cm²). Ao final do experimento, em relação a T₃₀ (3.088,63cm²) os valores foram de 11,78; 23,05 e 29,01% menores em relação a T₃₀.

O clone C4 apresentou maior perda de incremento foliar para ambas as épocas. Em EP₃₀ obteve-se valores de 9,78; 19,7% e 29,01% menores em relação a T₃₀ e em EP₉₀ 4,52; 9,11 e 13,41% para T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀ respectivamente, também em função de T₃₀ (4.149,24 cm²).

Os clones C1, C5, C6 e C8 demonstraram entre si comportamento semelhante. Os resultados para EP₃₀ em T₃₀ foram de 1.671,10; 1.476,23; 1.610,85; 1.927,91cm², respectivamente. Nas demais tensões ocorreram valores inferiores ao padrão, sendo 5,33; 5,65; 5,54 e 4,59% respectivamente em T₆₀; 12,43; 13,20; 12,94 e 11,57% em T₁₀₀ e 30,20; 32,06 e 31,06% para T₂₀₀. Os valores constatados para T₃₀ para EP₉₀ foram de 3.582,67; 3.408,08; 3.441,27 e 3.517,06 cm²; com diferenças de 2,23; 2,45; 2,59 e 2,71% em T₆₀; 5,80; 5,71, 6,05 e 6,34 em T₁₀₀ e 14,08; 13,88; 14,71 e 15,40% T₂₀₀.

O crescimento da área foliar é afetado diretamente pela senescência das folhas ou redução da capacidade de expansão foliar. A senescência ocorre quando o solo seco não pode fornecer nitrogênio suficiente para suprir as necessidades de crescimento da cultura e o nitrogênio do interior da planta é retranslocado das folhas mais velhas para os pontos de crescimento (SANTOS & CARLESSO, 1998).

No presente estudo as tensões utilizadas não proporcionaram abscisão, estando as alterações na área foliar diretamente relacionadas à capacidade de expansão foliar, a qual é

precocemente afetada pelo déficit hídrico através da redução da pressão de turgor, considerada extremamente sensível ao estresse hídrico, sendo essa pressão diretamente relacionada com os mecanismos de cada espécie, na sua efetividade de processos fotossintéticos ou exploração do conteúdo de água no solo (TAIZ et al., 2017).

Com a área foliar reduzida, conseqüentemente, há menor transpiração, conservando água no solo por um período mais longo. Assim, a redução da área foliar pode ser considerada a primeira linha de defesa contra a seca sendo sua inibição uma resposta precoce adaptativa ao déficit hídrico (CAVALCANTE, CAVALLINI & LIMA, 2009; TAIZ et al., 2017), por isso ocorre maiores diferenciações nas porcentagens entre níveis T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀ em relação ao tratamento padrão T₃₀, em um mesmo clone, quando comparado com a variável ALT.

Em detrimento ao impacto ocasionado pela redução da água no solo, na Figura 10 encontra-se o estudo entre a interação dos clones e as tensões de água no solo.

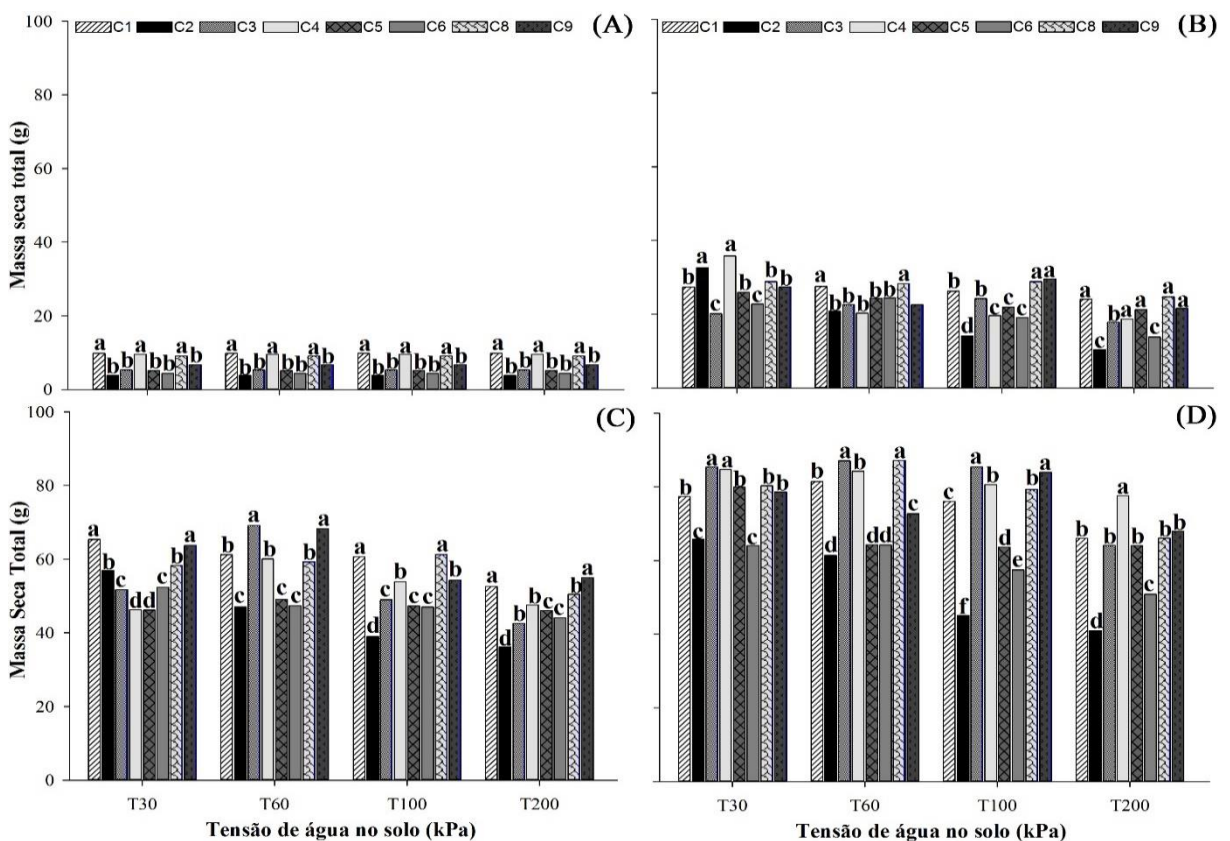


Figura 10. Massa seca total (g) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV_{Inicial}; (B) EP₃₀, (C) EP₆₀ e (D) EP₉₀ dias após início dos regimes hídricos.

Em AV_{inicial} os clones que obtiveram massa seca total (MST) estatisticamente superiores foram C1, C4 e C8, os quais também obtiveram as maiores médias de AF e ALT inicial. Os

demais clones tiveram suas médias estatisticamente iguais.

Observou-se um incremento de MST considerável, para todos os clones, independente da tensão fornecida na última época de avaliação (EP₉₀). A tensão de água no solo T₃₀ proporcionou o desenvolvimento mais uniforme entre clones. Nessa tensão os clones C3 e C4 apresentaram médias de MST estatisticamente superiores. Os clones C2 e C6 exibiram as menores médias, enquanto os demais clones posicionaram-se intermediariamente.

A partir de T₆₀, C3 apresenta média estatisticamente superior, entretanto agora igualado por C8. Os clones C1 e C4 apresentaram estaticamente a segunda maior MST. O clone C5 apresenta uma perda significativa na MST a partir dessa tensão de água no solo. Tais comportamentos são bem similares em T₁₀₀, no qual C3 e C9 formam o agrupamento de maior média, seguido por C4 e C8.

Em T₂₀₀ tem-se as menores médias de MST, sendo que apenas o clone C4 foi estatisticamente superior. Os clones C1, C3, C5, C8 e C9 formam o agrupamento com crescimento intermediário e novamente C2 e C6 com desenvolvimento estatisticamente menor.

Nessa variável foi verificada menor influência climática, sendo o crescente ganho de massa relacionado à translocação dos fotoassimilados ao sistema radicular, em função da estabilização no crescimento da parte aérea.

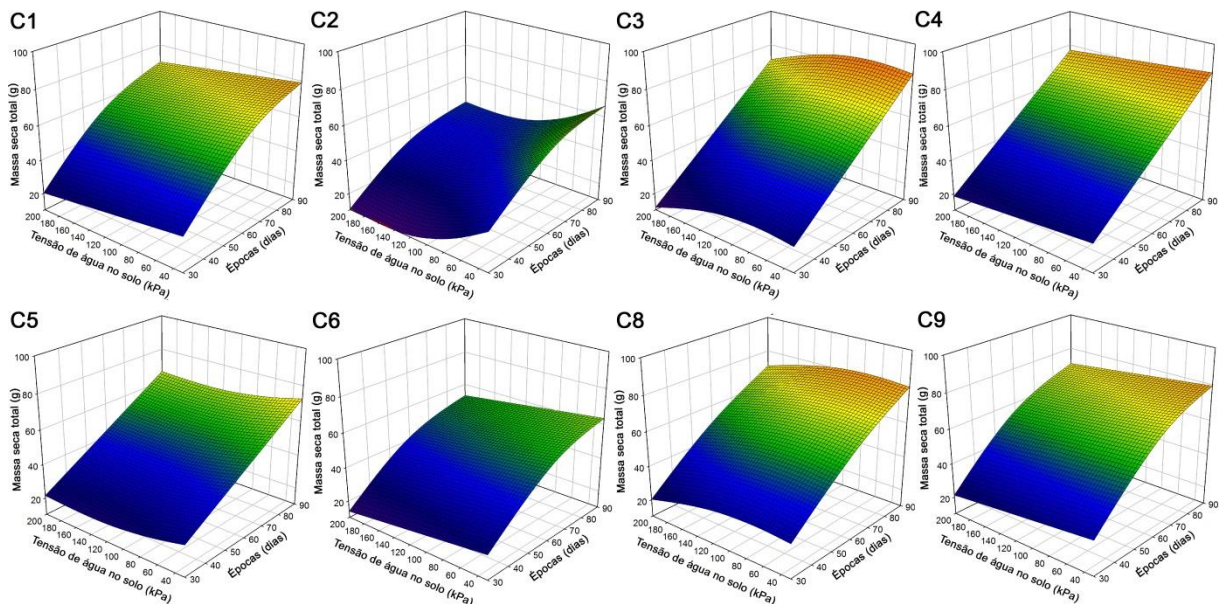


Figura 11. Massa seca total (g) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos).

Tabela 06. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável massa seca total.

$$\hat{Y}_{C1} = -20,2098 - 0,0572*T + 2,0420*EP - 0,0102*EP^2; R^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C2} = 4,1998 - 0,4523*T + 0,0014*T^2 + 1,6334*EP - 0,0090*EP^2; R^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C3} = -8,2584 + 0,1317*T - 0,0009*T^2 + 0,9891*EP; R^2 = 0,95$$

$$\hat{Y}_{C4} = -1,1991 - 0,0468*T + 0,9701*EP; R^2 = 0,96$$

$$\hat{Y}_{C5} = 10,0683 - 0,1647*T + 0,0006*T^2 - 0,7440*EP; R^2 = 0,97$$

$$\hat{Y}_{C6} = -18,0289 - 0,0613*T + 1,7388*EP - 0,0091*EP^2; R^2 = 0,99$$

$$\hat{Y}_{C8} = -11,1314 + 0,0971*T - 0,0007*T^2 + 1,4220*EP - 0,0048*EP^2; R^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C9} = -20,6152 - 0,0514*T + 2,0442*EP^2 - 0,0102*EP^2; R^2 = 0,96$$

* \hat{Y} = Estimativa quantitativa da variável em estudo; T= Tensão de água no solo (kPa); EP = Épocas após indução dos regimes hídricos; R²= Coeficiente de determinação do modelo.

Outro fator está relacionado a expansão foliar, que em decorrência de ser afetada precocemente reduz o consumo de carbono e energia, podendo uma proporção maior de assimilados ser distribuída ao sistema radicular (TAIZ et al., 2017).

Em AV_{inicial} os clones C3 e C8 exibiram resultados superiores ao padrão T₃₀ (24,55 e 29,50 g respectivamente) na faixa de umidade correspondente à T₆₀ e T₁₀₀. O clone C3 apresentou crescimento 6,14% superior em T₆₀ e 4,02% em T₁₀₀, com queda em T₂₀₀ de 52,84%. Em EP₉₀ ainda apresentou superioridade de 1,79 e 1,17% para T₆₀ e T₁₀₀ respectivamente em relação a T₃₀ (83,89 g). Entretanto, quando cultivado sob tensão T₂₀₀ kPa apresentou a diferença reduzida para 15,46%. O clone C8 apresentou resultado superior em T₆₀ (3,84% maior), em T₁₀₀ e T₂₀₀ resultados de 2,74 e 31,42% menores que T₃₀. Em EP₉₀ (80,09 g) a adaptação dessa faixa de umidade proporciona em T₆₀ e T₁₀₀ 1,41 e 0,99% maior que T₃₀, sendo T₂₀₀ novamente menor em 11,57% em relação a T₃₀, apresentando nesses clones a maior capacidade de recuperação em acúmulo de biomassa.

O agrupamento formado pelos clones C1, C4 e C9 evidenciou valores bem similares em relação à MST. Em todos esses clones, as tensões T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀ proporcionaram menores ganhos de MST em relação a T₃₀ (30,13; 26,50; 29,98 g respectivamente) em EP₃₀, com o resultado persistindo até o final do experimento. Para o clone C1 foram encontrados os valores de 5,69; 13,28 e 32,26%. O clone C4 exibiu valores de 5,29; 12,35; 29,99% e para C9 de 5,14; 12 e 29,14%, respectivamente menores em relação a T₃₀. Em EP₉₀ os valores são reduzidos para 2,16; 5,06 e 12,29%, 1,65; 3,83 e 9,38 e 1,94; 4,53 e 11,02% para C1, C4 e C9 respectivamente, os quais apresentavam valores de 79,08; 84,70 e 79,31g.

O clone C5 também apresentou reduções ao decréscimo da umidade, tendo em T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀ valores de 12,34; 23,31 e 23,02% menores em relação a T₃₀ (27,24 g). Ao final do experimento os valores obtidos foram de 4,75; 8,96; 8,84% respectivamente em relação a T₃₀ (72,58 g).

Os clones C2 e C6 foram os mais susceptíveis com a redução do conteúdo de água no solo. O clone C2 apresentou em T₆₀ uma diferença de 29,83% que se estende em 57,67% e chega em 67,50% menor que T₃₀ (32,80 g). Já o clone C6, apesar de conseguir manter crescimento, apresentando uma diferença de 7,62% em T₆₀ quando exposto a T₁₀₀ e T₂₀₀, atinge valores de 17,78 e 43,19% menores que T₃₀ (24,14 g). Na última época, os clones conseguiram acumular biomassa com menor diferença entre as tensões, sendo em T₆₀, T₁₀₀ e T₂₀₀ os respectivos valores de 14,81; 28,65 e 33,52% para C2 (66,05 g) e 2,90; 6,78 e 16,47% para C6 (63,29 g).

Observa-se que a variável MST foi sensível à redução da umidade, uma vez que os melhores resultados foram entre T₃₀ e T₆₀, com perdas acentuadas a partir dessas tensões.

Correlacionar respostas morfológicas de plantas à deficiência hídrica são de interesse para compreensão de padrões de crescimento e desenvolvimento e principalmente acúmulo de biomassa (LIMA, 2012).

Segundo Silva et al. (2008) a primeira linha de defesa ao déficit hídrico é o fechamento estomático, uma vez que a resistência difusiva de vapor de água reduz a transpiração. No entanto, se essa situação se estende acarretará prejuízo à capacidade fotossintética, uma vez que o suprimento de CO₂ torna-se reduzido (NOGUEIRA & SILVA, 2002), sobretudo no rendimento da produção de matéria seca.

Os resultados corroboram com obtidos por outros autores que estudaram os efeitos do déficit hídrico. Para o cafeeiro conilon, Martins et al. (2006) também concluíram que uma maior disponibilidade hídrica proporciona maior acúmulo de matéria seca na parte aérea do cafeeiro conilon. Araujo et al. (2011) demonstraram em duas variedades do cafeeiro conilon, robusta e Vitória, que a redução da umidade do solo durante um período determinado ocasiona redução no acúmulo de biomassa. Tatagiba et al. (2016) demonstraram redução da MST em função da redução da água no substrato. Entretanto, neste trabalho, foi possível a obtenção da faixa adequada de umidade no solo para o bom crescimento de cada clone em fase inicial de crescimento.

Da mesma forma que as demais, a variável MST em função do tempo adquiriu maior resistência à redução de água no solo. Em comparação com a primeira avaliação foram obtidos valores finais mais próximos ao padrão T₃₀. Esse fato também foi constatado por Fialho et al. (2010) estudando massa seca de plantas jovens do cafeeiro arábica.

Em todas as variáveis, respostas específicas de crescimento foram observadas, resultantes do processo de interação entre genótipo e tensão de água no solo. Estudos conduzidos no Espírito Santo têm mostrado grande diversidade genética no comportamento entre clones do cafeeiro conilon sob condições de seca (BELAN et al., 2011). Alguns clones demonstram-se sensíveis à seca, com baixo vigor, e grande comprometimento da produção e crescimento e clones que exibem bom vigor e médias praticamente inalteradas em condições de deficiência hídrica no solo (SILVA et al., 2010).

Tais diferenças estão diretamente associadas aos diferentes mecanismos que governam a resistência ao estresse hídrico e da utilização desse recurso (BELAN et al., 2011). Os principais mecanismos fisiológicos de tolerância à seca entre clones do cafeeiro conilon são governados pela eficiência de extração da água do solo e pelas taxas de uso da água pelas plantas (DaMATTA & RAMALHO, 2006).

Além dos diferentes comportamentos entre genótipos, também se observou diferenciação do mesmo indivíduo ao longo do tempo, em função da capacidade adaptativa à condição fornecida. Lobo (2013) afirma que em situação de restrição hídrica diversos mecanismos agem em conjunto para tentativa de sobrevivência das plantas como regulação osmótica, fechamento estomático e exploração do sistema radicular sob o substrato. Diversos estudos relatam que esses mecanismos adquirem resistência ascendente ao déficit hídrico em função do crescimento das plantas e estão associados à maturação de processos fisiológicos (PIZETTA et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016).

Em relação às variáveis de crescimento, diversos autores relatam a influência negativa do déficit hídrico sob o cafeeiro. Dardengo (2006), estudando o déficit hídrico no cafeeiro conilon, afirmou que o fenômeno exerceu influências negativas sobre todas as variáveis de crescimento, resultando os tratamentos com déficit hídrico menor altura, menor área foliar e também menor massa seca total, quando submetidos a irrigações com déficit de 33 e 67% da água disponível.

Pizetta et al.(2016); Rodrigues et al.(2016) relataram decréscimo da área foliar e da altura de plantas em condições de estresse hídrico em função da redução da fração de água transpirável do solo. Rodrigues et al.(2015) mencionaram decréscimo linear do acúmulo de biomassa em função da redução da água disponível no cafeeiro Robusta Tropical, o mesmo também relatado por Oliveira, Pizetta e Reis. (2012). No estudo entre clones, Ribeiro et al.(2018) determinaram o ponto crítico em que a umidade de água no solo começa exercer efeito prejudicial no cafeeiro conilon cultivar Diamante, o qual constata diferentes respostas entre clones.

Dardengo, Reis & Passos (2009) verificaram a influência negativa do déficit hídrico sobre a altura do cafeeiro conilon. Da mesma forma, Busato et al. (2007), ao avaliarem o desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon sob diferentes lâminas de irrigação, encontraram maiores valores de altura do cafeeiro para maior disponibilidade hídrica no solo.

Na avaliação inicial da relação parte área/raiz (Tabela 07) não houve diferenciação entre a partição de biomassa entre tensões, sendo as variações diretamente relacionadas aos clones.

Tabela 07. Relação massa seca da parte aérea/raiz (P/R) dos oito clones componentes da variedade Jequitibá em função dos níveis de água no solo, no primeiro dia de indução dos regimes hídricos ($AV_{inicial}$) e ao final do do experimento (EP_{90}).

CLONES	$AV_{inicial}$				EP_{30}			
	T_{30}	T_{60}	T_{100}	T_{200}	T_{30}	T_{60}	T_{100}	T_{200}
C1	1,48	1,48	1,48	1,48	2,13	2,38	2,29	2,15
C2	1,35	1,35	1,35	1,35	2,02	2,12	1,34	1,72
C3	1,57	1,57	1,57	1,57	2,25	1,66	1,46	2,22
C4	1,59	1,59	1,59	1,59	2,17	2,42	2,26	2,32
C5	2,04	2,04	2,04	2,04	2,60	2,41	2,92	3,05
C6	1,63	1,63	1,63	1,63	2,39	2,82	2,69	2,18
C8	1,38	1,38	1,38	1,38	1,96	1,86	2,56	2,42
C9	1,90	1,90	1,90	1,90	2,45	2,45	2,41	2,99
	EP_{60}				EP_{90}			
C1	2,41	2,21	2,15	2,09	1,63	1,48	1,54	1,67
C2	2,14	2,84	2,16	2,21	1,47	1,73	1,91	1,64
C3	1,74	1,39	1,75	2,21	0,87	0,84	0,82	1,13
C4	2,18	1,51	2,22	2,16	1,48	1,41	1,37	1,50
C5	2,61	2,18	2,38	2,57	1,44	1,78	1,79	1,58
C6	2,82	2,51	2,51	2,47	1,65	1,82	2,20	2,00
C8	1,84	1,90	1,38	1,79	1,57	1,24	1,37	1,65
C9	1,92	2,23	2,10	2,13	1,31	1,54	1,58	1,55

Os clones submetidos a T_{30} têm valores (P/R) oscilando entre 1,65 a 1,31, exceto para C3 que apresenta os menores valores entre clones independente da tensão, indicando que esse genótipo possui a maior proporção de raiz em relação à parte aérea. Inversamente, o clone C6 foi o que apresentou a menores valores de raiz, aumentando a relação com a parte aérea. Desta forma, infere-se que a exploração do substrato pode ter sido um dos fatores limitantes ao seu crescimento como relatado nas variáveis anteriores.

Os demais clones tiveram valores convergendo muito próximos entre si sob uma mesma

tensão. As oscilações entre diferentes tensões deu-se ao fato de pequenas variações normais entre plantas e entre processos de avaliações de sistema radicular.

Em T₂₀₀ todos os clones apresentam maiores valores de (P/R) quando comparados com T₃₀, podendo ser um indicativo de que o déficit hídrico não afetou essa relação. A parte aérea tende a continuar crescendo até que a absorção de água pelas raízes torne-se limitante. Desta forma, esse balanço só será alterado se o suprimento hídrico decrescer (TAIZ et al., 2017). Analogamente em T₁₀₀ foram observados valores bem próximos ou superiores a T₃₀.

Assim, pode-se inferir que as tensões estabelecidas não foram suficientes para gerar um estresse hídrico tal qual exerce-se influência para acarretar de forma incisiva a síntese de ácido abscísico nas raízes, estimulando crescimento, redistribuição e alocação de biomassa para o sistema radicular (NAGAKURA, SHIGENAGA & AKAMA, 2004) com incremento na produção de raízes em relação à parte aérea, resultando na supressão do crescimento da folha e, conseqüentemente, uma diminuição da razão parte aérea/raiz (LARCHER, 2000; DIAS et al., 2005; TAIZ et al., 2017).

O maior crescimento radicular pode permitir a absorção de água em horizontes mais profundos do solo (TAIZ et al., 2017), enquanto a inibição do crescimento da parte aérea, juntamente com o fechamento estomático, podem restringir a transpiração, protegendo a planta contra a desidratação excessiva (KRAMER & BOYER, 1995; DIAS et al., 2005).

Silva et al. (2008) não observaram diferenças significativas entre os tratamentos para a alocação de biomassa das folhas, dos caules, das raízes e a razão raiz/parte aérea. Em café robusta, Pinheiro et al. (2005), cultivando quatro clones contrastantes quanto à tolerância à seca em tambores de 120 L, observaram que a profundidade do sistema radicular pode estar associada com melhor estado hídrico dos clones tolerantes à seca, possivelmente por uma maior eficiência na extração da água do solo.

Dias et al. (2005) também observou variações de tolerância à seca entre progênies, sendo algumas mais susceptíveis ao fenômeno. Contudo, as razões de massa seca de raiz: massa seca da parte, e a razão massa seca de raiz: massa seca de folha, não evidenciaram modificações significativas em resposta à deficiência hídrica, podendo afirmar que o déficit hídrico não causou variação na distribuição e alocação de biomassa.

Pelas curvas de crescimento apresentadas na Figura 12, pode-se afirmar que todos os clones, independentes da tensão aplicada, conseguiram apresentar uma TCR positiva, com incremento satisfatório.

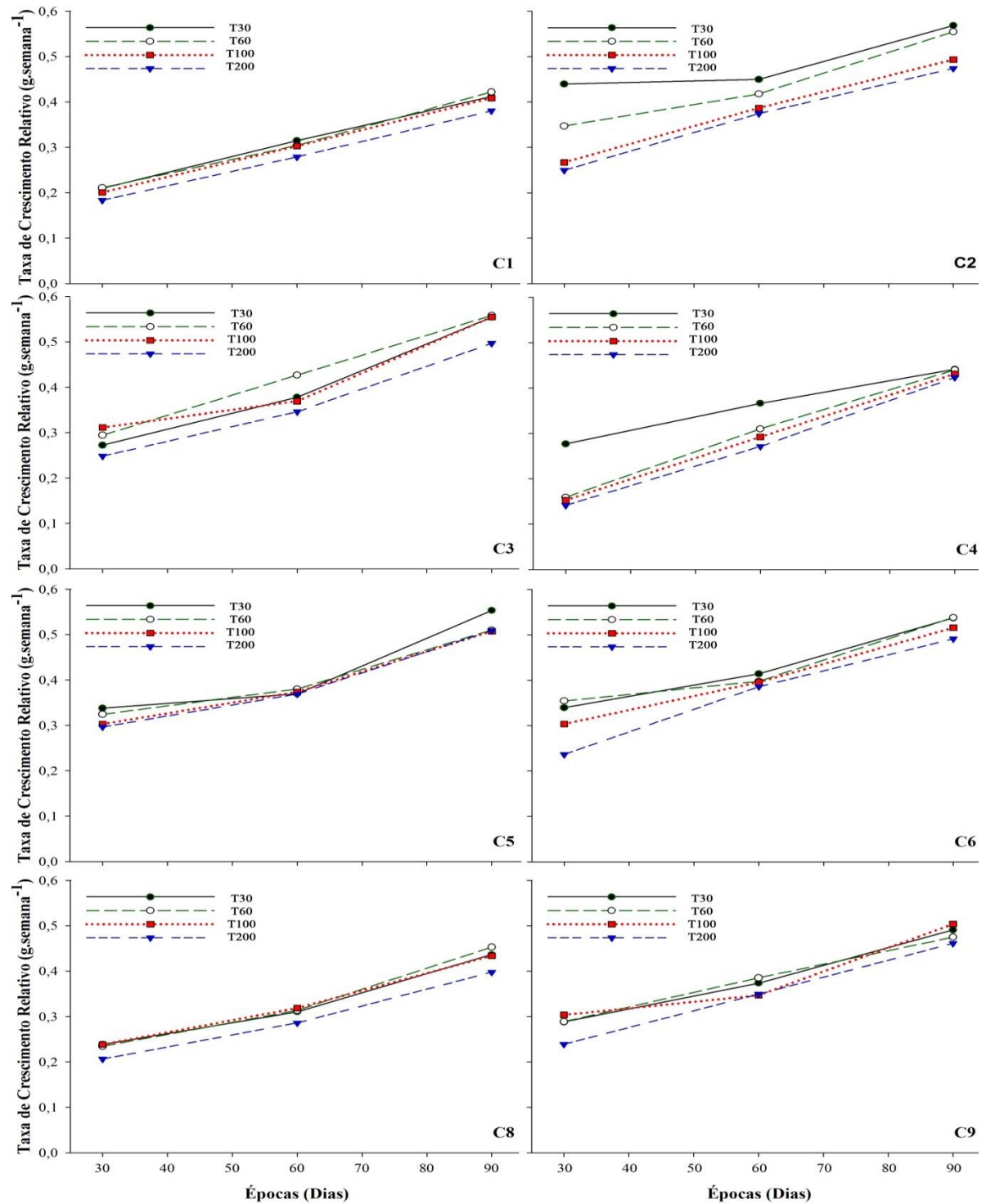


Figura 12. Taxa de crescimento relativa de oito clones cafeeiro conilon que compõem a cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, obtida nas quatro tensões de água no solo em função das épocas de aplicação dos regimes hídricos.

Nos clones C2, C3 e C5 foram evidenciados maiores valores de TCR ao final do experimento, atingindo para tensão mais responsiva (T₃₀) valores de 0,55; 0,56 e 0,55 g

semana⁻¹ respectivamente. Enquanto os clones C1 e C4 apresentaram as menores médias 0,41 e 0,43 g semana⁻¹ respectivamente.

Em relação às tensões, aferiu-se que os clones C1, C6, C8 e C9 submetidos a crescimento entre as T₃₀ a T₁₀₀ sofreram menores variações. Ao final do experimento as melhores respostas para C3 também convergem entre T₃₀ a T₁₀₀.

O clone C2 inicialmente apresenta baixo crescimento na tensão T₃₀. A partir da segunda época de avaliação (EP₆₀) ocorre melhores resultados em T₃₀, seguido por uma diferença mínima para T₆₀. C5 apresenta crescimento inicial satisfatório na mesma faixa T₃₀ a T₆₀.

Por fim, C4 foi o único clone que apresentou TCR com valores próximos em todas as tensões, mostrando-se o mais tolerante.

O crescimento satisfatório das culturas será obtido quando ocorrer um suprimento balanceado das necessidades nutricionais e hídricas. As diferentes demandas entre clones têm sido constantes alvos de pesquisas. Para o entendimento da necessidade hídrica de cada clone na Figura 13 dispõem-se o consumo total de água em função de diferentes tensões de água.

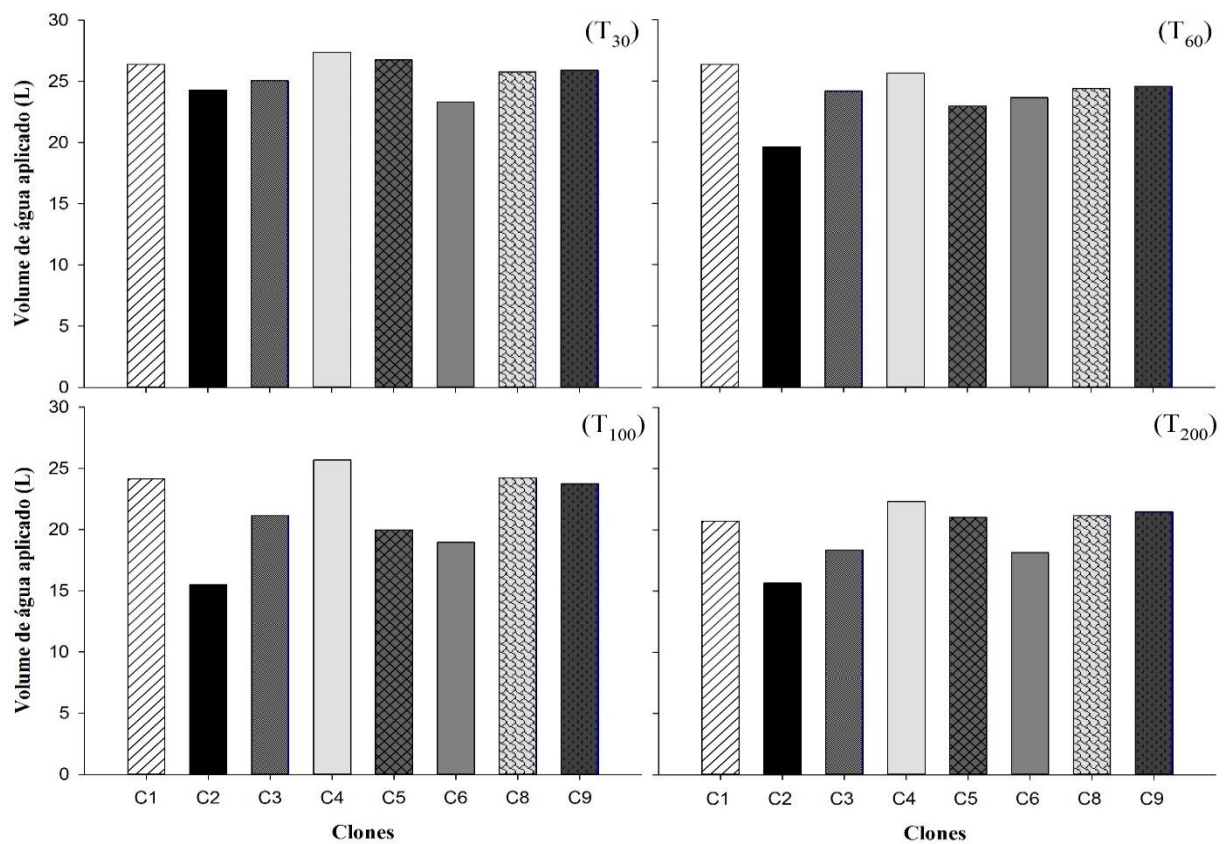


Figura 13. Consumo médio total de água em oito clones do cafeeiro conilon que compõem a cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, em função de cada nível do fator tensão de água no solo.

Podemos verificar o consumo de água próximo entre os clones nas tensões de T₃₀ e T₆₀. O clone C4 apresentou o maior consumo de água independente da tensão a ele estabelecida, com valores em T₃₀= 27,36; T₆₀= 25,65 e T₁₀₀= 25,66 e T₂₀₀= 22,32 L. A diferença na taxa de consumo entre as tensões de T₃₀ para T₂₀₀ foi de 18,42%. Similarmente, esse comportamento foi notado nos clones C8 (25,76; 24,39; 24,19; 21,14 L) e C9 (25,90; 24,53; 23,72 e 21,46 L), obtendo-se uma diferença por volta de 17,5% de T₂₀₀ em relação a T₃₀. Possivelmente esses resultados estão relacionados à manutenção de elevada transpiração mesmo em maiores tensões de água.

O clone C2 possui baixa demanda hídrica, além de sensibilidade a variações de umidade, por uma queda de consumo quando submetido a altas tensões. Dentre os mecanismos envolvidos, pode-se citar o fechamento estomático precoce. O consumo partiu de 24,28 L em T₃₀; regredindo em 19,63 em T₆₀ e atingindo valores de 15,47; 15,65 L em T₁₀₀ e T₂₀₀ respectivamente, uma diferença de 35,0%.

Os clones C1, C4, C8 e C9 tiveram consumo de água muito próximo até T₁₀₀. C2 tem menor consumo de água a partir de T₆₀. C3 possui demanda constante até T₁₀₀, por fim os clones C5 e C6 apresentam consumo hídrico similar até a tensão de T₆₀.

Em todos os clones, exceto C2 (19,26 L) e C5 (14,15 L), a diferença de consumo hídrico entre T₃₀ e T₆₀ variam em torno de 0,05% no clone C1; C3= 3,49; C4= 6,23; C6= 1,45; C8= 5,33; C9= 5,28%.

A relação entre a demanda hídrica e a produção de biomassa possibilita inferir estudos sobre a eficiência do uso da água (EUA) como demonstrado na Figura 14.

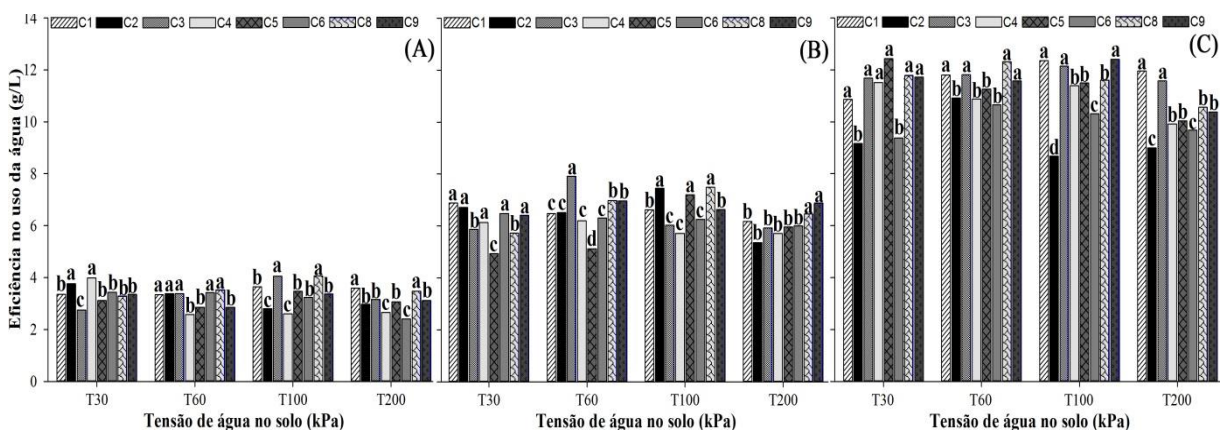


Figura 14. Eficiência do uso da água (g L^{-1}) de oito clones do cafeeiro conilon cultivar ‘ES8122’ – Jequitibá, sob tensões de água no solo (kPa), em quatro épocas de avaliação, (A) AV_{Inicial}; (B) EP₃₀, (C) EP₆₀ e (D) EP₉₀ dias após início dos regimes hídricos.

Para todas as tensões em estudo, ocorreram aumentos na eficiência do uso da água.

Na primeira avaliação em (EP₃₀), os clones C2 e C4 cultivados sob tensão de 30 kPa (T₃₀) exibiram, estatisticamente, as maiores médias de EUA.

Em T₆₀ tem-se maior uniformidade, em que se distingue dois grupos: o primeiro composto pelos clones C1, C2, C3, C6, C8 e C9 que apresentaram maior EUA, o segundo grupo composto pelos clones C4, C5 e C9 com menor EUA.

Com a redução do manejo para 60kPa, o clone C4 indica queda da EUA, enquanto C3 demonstrou um comportamento inverso, aumentando sua EUA com redução da água no solo, sendo estatisticamente igual ao agrupamento de maior média em T₆₀ e juntamente com C8 sendo o mais eficiente em T₁₀₀.

Na maior tensão de água no solo (T₂₀₀), os clones C4 e C6 detiveram menor EUA, comportamento divergente dos clones C1 e C8 que foram mais eficientes no uso da água nesse ambiente.

Na última época de avaliação, C2 e C6 apresentaram resultados estatisticamente inferiores em T₃₀, situação que persiste até a última tensão. Assim como na primeira avaliação, em T₆₀ ocorreu a maior uniformidade entre os clones, formando o agrupamento estatisticamente superior com os clones C1, C3, C8 e C9. Os Clones C1, C3 e C9 tiveram as maiores médias de EUA em T₁₀₀, persistindo C1 e C3 em T₂₀₀, evidenciando elevado potencial de crescimento desses clones em qualquer tensão.

Nota-se, assim, que em T₆₀ ocorre a melhor faixa de umidade para maior uniformidade de crescimento dos clones. Sob a tensão T₁₀₀, para a maioria dos clones, as variações no comportamento das plantas são mínimas, com maiores reduções a partir desse limite, pois o desempenho sob baixa umidade irá depender diretamente de cada genótipo.

Para determinar a tensão que fornece a melhor EUA, foram determinados modelos de superfície de resposta para os fatores quantitativos, como demonstrado na Figura 15. Observou-se que em cada clone as respostas foram bem contrastantes.

Ao longo do tempo há um ganho considerável na EUA em todos os clones, independente da tensão em estudo, decorrente da maturação dos mecanismos fisiológicos que regem os processos de resistência ao déficit hídrico. Diferente das demais variáveis discutidas, desde EP₃₀, os clones mantiveram o mesmo comportamento até o final do experimento.

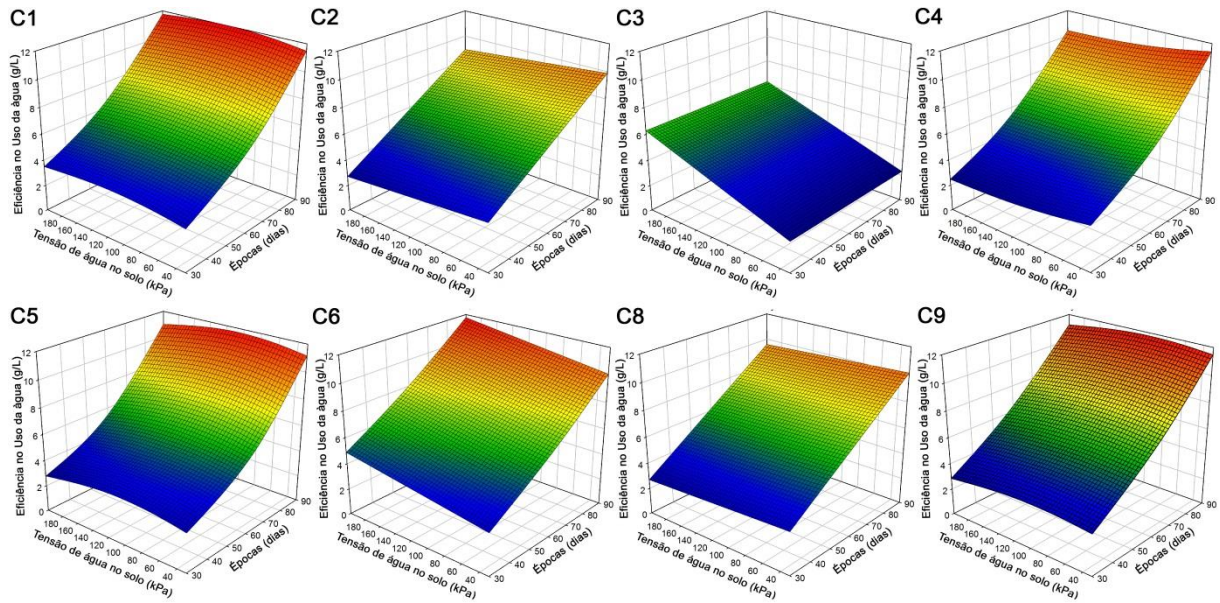


Figura 15. Eficiência do uso da água (g L^{-1}) em função de diferentes tensões de água no solo (kPa) e épocas (dias após indução dos regimes hídricos)

Tabela 08. Modelo de superfície resposta de oito clones da cultivar ‘ES8122’- Jequitibá em função das tensões de água no solo e épocas, para variável Eficiência no Uso da água (EUA).

$$\hat{Y}_{C1} = 1,9353 + 0,0144*T - 0,0001*T^2 - 0,0055*EP + 0,0012EP^2; \mathbf{R}^2 = 0,99$$

$$\hat{Y}_{C2} = 0,7451 - 0,0057*T + 0,1034*EP; \mathbf{R}^2 = 0,94$$

$$\hat{Y}_{C3} = 1,6516 + 0,0231*T - 0,0001*T^2 - 0,0104*EP + 0,0013*EP^2; \mathbf{R}^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C4} = 2,8762 - 0,0145*T + 0,00003*T^2 - 0,0006*EP + 0,0011*EP^2; \mathbf{R}^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C5} = 2,6650 + 0,0189*T - 0,0001*T^2 - 0,0540*EP + 0,0016*EP^2; \mathbf{R}^2 = 0,96$$

$$\hat{Y}_{C6} = 0,3967 - 0,0099*T - 0,0001*T^2 - 0,0738*EP + 0,0003EP^2; \mathbf{R}^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C8} = -0,0930 - 0,0033*T - 0,1147*EP; \mathbf{R}^2 = 0,98$$

$$\hat{Y}_{C9} = 0,5391 + 0,0118*T - 0,0001*T^2 + 0,0555*EP + 0,0007*EP^2; \mathbf{R}^2 = 0,98$$

* \hat{Y} = Estimativa quantitativa da variável em estudo; T = Tensão de água no solo (kPa); EP = Épocas após indução dos regimes hídricos; \mathbf{R}^2 = Coeficiente de determinação do modelo.

No agrupamento formado C1, C5 e C9 foram encontrados comportamentos semelhantes, e uma diferença relativamente pequena da EUA entre as tensões. Para esses clones, a tensão que sobressaiu foi T_{100} , atingindo valores de 11,98; 11,70 e 11,76 g L^{-1} respectivamente, e a tensão que se obteve menor EUA foi em T_{30} 11,48; 11,17 e 11,47 g L^{-1} . Esse fato ocorre devido a quantidade de água utilizada ser superior à demanda hídrica das plantas. Esses clones adaptaram-se a um gradiente de umidade intermediário na faixa de umidade entre T_{60} e T_{100} .

Os clones C2, C4 e C8 formaram o grupo de clones em que a EUA decresce linearmente em função da redução do conteúdo de água. Em T_{30} obteve-se 9,88; 11,42 e 10,12 g L⁻¹ respectivamente, não havendo grandes alterações até T_{60} . A partir desse ponto houve uma queda considerável na EUA chegando em T_{200} atingir os menores valores do experimento.

Esses clones possivelmente apresentam alto K_L , permitindo processo transpiratório mesmo em condições adversas, ocasionando maior uso de água para um incremento final em massa. Valores elevados de K_L culminam em uma baixa disponibilidade de controlar a perda de água, e altas taxas na utilização da água, o que não seria problema em uma região de alta disponibilidade hídrica ou com uso de irrigação (CAVATTE, 2007).

Os clones C3 e C6 seguem um processo crescente na EUA em função das maiores tensões de água no solo, sendo 2,33; 3,03; 3,95; 6,26 e 10,09; 10,38; 10,78; 11,76 g L⁻¹ respectivamente. Esses clones compõem um grupo com baixos valores de K_L sob condições de estresse, sendo assim, com a desidratação das células guarda, ocorre o fechamento estomático, poupando água no solo para utilização posterior. No cafeeiro, baixos valores de K_L sobre maiores potenciais têm sido relacionados à alta vulnerabilidade à seca (CAVATTE, 2007).

Os resultados demonstram que o manejo da água com elevado teor de umidade no solo pode não significar maiores produtividades ou maior eficiência no uso da água, pois esses resultados estão especificamente interligados com a necessidade hídrica de cada cultura, ou neste caso, de cada clone.

Bernardo (2006) relata que o aumento da disponibilidade hídrica proporciona incremento positivo ao potencial produtivo e crescimento das plantas, até um determinado ponto, após o qual a produtividade passa a decrescer, devido ao excesso de água no solo, à baixa aeração na zona radicular e à lixiviação de nutrientes (BERNARDO, 2006). Como consequência ocorrem menores valores da EUA, em função da menor geração de biomassa por unidade hídrica.

Os resultados desse experimento corroboram com os descritos por Vicente et al. (2015), os quais relatam decréscimo na eficiência no uso da água no cafeeiro em função do aumento de lâminas de irrigação, devido à perda de água principalmente por percolação. Os mesmos autores mencionaram maiores EUA quando utilizado 75% da lâmina de irrigação, entretanto, a maior produção foi com 95% da lâmina. Carvalho (2008) também constata maior EUA utilizando 80% da evapotranspiração do tanque classe A (ECA), e menores valores no tratamento sem irrigação ou com irrigação a 120% da ECA com adoção da suspensão da irrigação.

Em outras culturas, o comportamento estudado é similar. Na investigação sobre EUA em batateiras, Delazari et al. (2017) obtiveram como maior eficiência umidades intermediárias, trabalhando em uma faixa de 200 mm a 450 mm, obtendo em 348 mm a maior EUA. Mantovani et al. (2013) constataram que o aumento na lâmina de água aplicada resultou no aumento da eficiência do uso da água, até atingir um valor máximo, ou seja, maior eficiência em 87,3% da ETc para duas cultivares de batata, reduzindo essa eficiência a partir deste valor. A produtividade referente à máxima eficiência no uso da água para as cultivares de batata-doce foi obtida com economia de 237 e 146 m³ ha⁻¹ de água, para ‘Amanda’ e ‘Duda’, respectivamente.

Souza et al. (2014) concluíram que a EUA diminui à medida que aumenta o volume de água recebido. O uso eficaz de água implica na máxima captura de umidade do solo para a transpiração que envolve também reduzida transpiração não-estomática e mínima perda de água por evaporação do solo, resultando em melhorias na condição hídrica (BLUM, 2009). Esse índice pode basicamente ser melhorado quando se consegue aumentar a produtividade sem aumentar a quantidade de água aplicada (CARVALHO, 2008).

Conforme preconizado por Sousa et al. (2005), a distribuição da água e a manutenção de níveis ótimos de umidade no solo durante todo o ciclo da cultura reduzem as perdas de água por drenagem e os períodos de estresse hídrico da cultura, o que aumenta a eficiência no uso da água. Segundo Souza et al. (2000), a elevação e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexos e requerem conhecimentos e considerações interdisciplinares.

A eficiência no uso da água é um índice bastante utilizado para a avaliação do uso da água pelas culturas (VICENTE et al., 2015). Essa variável é utilizada como informação base, na busca de estratégias que possam reduzir a quantidade de água aplicada sem prejuízos ao processo produtivo (MANTOVANI et al., 2013), sendo estudada por diversos autores como Liu et al. (2018); Silva et al. (2014); Souza et al. (2014). É determinada em função de indicadores, que expressam relação entre a produtividade ou crescimento e a quantidade de água aplicada ou utilizada pela cultura (SILVA et al., 2011). Entretanto, estudos sobre essa relação para o cafeeiro ainda são escassos (VICENTE et al., 2015). Com essa base de informação, o planejamento e a tomada de decisão da irrigação passam ser mais precisos, resultando no manejo adequado e uso estratégico da água (KARATAS et al., 2009) para a cafeicultura.

5. CONCLUSÕES

Os clones responderam de maneira específica em função das diferentes tensões de água no solo.

Os clones possuem necessidades hídricas distintas entre si, com o clone C4 evidenciando o maior consumo e o clone C2 com o menor consumo de água.

A tensão T_{200} em todas as variáveis afetou o desenvolvimento das plantas, ocasionando médias inferiores às demais. Contudo, não ocasionou estresse suficiente para que houvesse alterações na relação (P/R).

Para a variável altura, os clones C8 e C9 apresentaram as maiores médias de altura, enquanto os clones C3 e C6 obtiveram os menores valores, ambos os casos persistiram independente da tensão a eles submetidas.

A área foliar apresentou em T_{30} as maiores médias, exceto em C9. As maiores médias foram obtidas em C4 e C9, enquanto as menores em C2 e C3 para todas as tensões.

Dentre as variáveis, a área foliar apresentou a maior sensibilidade aos efeitos da redução da água no solo, promovendo reduções de crescimento a pequenas variações de umidade.

No estudo da eficiência do uso da água na tensão T_{30} todos os clones foram estatisticamente iguais, porém, superiores a C2 e C6. Na tensão referente a T_{200} a maior eficiência foi obtida nos clones C1 e C3.

O clone C2 apresentou a maior sensibilidade quando exposto às maiores tensões para todas as variáveis.

Os clones C2, C3 e C5 obtiveram a maior taxa de crescimento relativo em condições ótimas de umidade de água no solo T_{30} . O clone C4 apresentou maior resistência com taxa de crescimento similar entre todas as tensões.

As tensões T_{30} e T_{60} apresentaram os melhores resultados, em que alguns clones ainda apresentaram adaptação até faixa de T_{100} .

6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. A. B.; ANTONINO, A. C. D.; PIMENTEL, R. M. M.; LIRA, C. A. B. O.; LIMA, J. R. S. Influencia da densidade na estimativa da umidade volumétrica em um latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 5, p. 1056–1068, 2012.
- AMARAL, J. A. T.; LOPES, J. C.; AMARAL, J. F. T.; SARAIVA, S. H.; JESUS, W. C. Crescimento vegetativo e produtividade de cafeeiros conilon propagados por estacas em tubetes. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1624–1629, 2007.
- ANA - Agência nacional de águas - Superintendência de planejamento de recursos hídricos. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil - Encarte Especial sobre a Crise Hídrica**. p.1-30, Brasília 2015.
- ARAUJO, G. L.; REIS, E. F.; MORAES, W. B.; GARCIA, G.; NAZÁRIO, A. A. Influência do déficit hídrico no desenvolvimento inicial de duas cultivares de café conilon. **Irriga**, v. 16, n. 2, p. 1–30, 2011.
- ARAÚJO, J. T.; SILVA, T. G. F.; SIQUEIRA E SILVA, S. M.; MOURA, M. S. B.; SOUZA, L. S. B. Calibração de sondas capacitivas, funções físico-hídricas e variação do armazenamento de água em um argissolo cultivado com palma forrageira. **Revista Ceres**, v. 62, n. 1, p. 20–29, 2015.
- ARRUDA, I. M.; MODA-CIRINO, V.; BURATTO, J. S.; FERREIRA, J. M. Crescimento e produtividade de cultivares e linhagens de amendoim submetidas a déficit hídrico. **Pesquisa Agropecuaria Tropical**, v. 2015, n. 2, p. 146–154, 2015.
- BATISTA, C. U. N.; MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; MEDRI, C.; PIMENTA, J. A. Tolerância à inundação de *Cecropia pachystachya* Trec. (*Cecropiaceae*): aspectos ecofisiológicos e morfoanatômicos. **Acta bot. bras**, v. 22, n. 1, p. 91–98, 2008.
- BATISTA, L. S.; COELHO, E. F.; CARVALHO, F. A. P.; SILVA, M. G. da; FILHO, R. R. G.; GONÇALVES, A. A. Calibração De Sonda Artesanal De Uso Com Tdr Para Avaliação De Umidade De Solos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 2, p. 522–532, 2016.
- BATISTA, L. R.; SOUZA, S. M. C.; SILVA E BATISTA, C. F.; SCHWAN, R. F. **Coffee: Types and Production**. Elsevier Ltd., 1. ed, p.1-8, 2015.
- BELAN, L. L.; SILVA, K. G.; TOMAZ, M. A.; JESUS, W. C.; AMARAL, J. A. T.; AMARAL, J. F. T. Aspectos fisiológicos do cafeeiro conilon : uma abordagem sistemática. **Nucleos**, v. 8, n. 1, p. 225–240, 2011.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. Jaboticabal: Funep. 2 ed., 41p. 2003.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A. & M. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa, 2006.
- BERNARDO, S. **Manejo da irrigação na cana-de-açúcar**. Alcoolbrás, p.72-80, 2006.
- BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. de. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2073–2079, 2009.
- BLUM, A. Drought resistance , water-use efficiency , and yield potential — are they compatible , dissonant , or mutually exclusive?. **Australian Journal of Agricultural**

Research, v. 56, p. 1159–1168, 2005.

_____. Field Crops Research Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. **Field Crops Research**, v. 112, p. 119–123, 2009.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PARTELLI, F. L.; SOUZA, J. M. Desenvolvimento vegetativo do cafeeiro conilon submetido a diferentes lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 157–169, 2013.

BONOMO, D. Z.; BONOMO, R.; PEZZOPANE, J. R. M.; SOUZA, J. M. de. Alternativas de manejo de água de irrigação em cultivos de conilon. **Coffee Science**, v. 9, n. 4, p. 537–545, 2014.

BRITO, R. R.; GOMES, E. R.; LUDWIG, R. Uso da água na irrigação. **Fórum Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 373–383, 2012.

BUSATO, C.; REIS, E. F.; MARTINS, C. C.; PEZZOPANE, J. E. M. Lâminas de irrigação aplicadas ao café conilon na fase inicial de desenvolvimento. **Ceres**, v. 54, p. 351–357, 2007.

CAMARGO, Â. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evaporação potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 5, n. 1, p. 89–97, 1997.

CANTUÁRIO, F. S.; LUZ, J. M. Q.; ALMEIDA, A. M.; SALOMÃO, L. C.; PEREIRA, A. I. A.; SCHWERZ, T. **Influência de tensões de água no solo e aplicação de sílicio na altura de plantas de pimentão cultivado em ambiente protegido**. XXV CONIRD – Congresso Nacional de Irrigação e Drenagem 08 a 13 de novembro de 2015, UFS - São Cristóvão/SE, n. 64, p. 474–479, 2015.

CARVALHO, H. P. **Irrigação, balanço hídrico climatológico e uso eficiente da água na cultura de café**. Piracicaba: Tese (Doutorado), Programa de Pós graduação em Irrigação e drenagem - ESALC, 2008.

CASTANHEIRA, D. T.; SCALCO, M. S.; FIDELIS, I.; ASSIS, G. A.; PEREIRA, F. S.; MATOS, N. M. S. Flowering and leaf water potential in coffee under different. **Coffee Science**, v. 8, n. 2, p. 192–204, 2013.

CAVALCANTE, A. C. R.; CAVALLINI, M. C.; LIMA, N. R. C. de B. Estresse por Déficit Hídrico em Plantas Forrageiras. Documentos 89. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Sobral-CE, p. 47, dez. 2009.

CAVATTE, P. C. **Morfologia, relações hídricas e fotossíntese em duas cultivares de Coffea canephora submetidas ao déficit hídrico**. Viçosa: Dissertação (Mestrado), Programa de Pós graduação em Fisiologia Vegetal - UFV, 2007.

CHAVES, M. M.; PEREIRA, J.; MAROCO, J.; RODRIGUES, M.; RICARDO, C. P.; OSÓRIO, M.; CARVALHO, I.; FARIA, T.; PINHEIRO, C. How Plants Cope with Water Stress in the Field . Photosynthesis and Growth. **Annals of Botany**, v. 89, p. 907–916, 2002.

CLAVEL, D.; SARR, B.; MARONE, E.; ORTIZ, R.; CLAVEL, D.; SARR, B.; MARONE, E.; ORTIZ, R. Potential agronomic and physiological traits of Spanish groundnut varieties (*Arachis hypogaea* L.) as selection criteria under end-of-cycle drought conditions. **Agronomie**, v. 24, p. 101–111, 2004.

COELHO, E. F.; VELLAME, L. M.; FILHO, M. A. C.; LEDO, C. A. S. Desempenho de modelos de calibração de guias de onda acopladas a TDR e a multiplexadores em três tipos de solos. **Revista brasileira ciencias do solo**, v. 30, n. 1, p. 23–30, 2006.

COELHO, E. R.; OR, D. Flow and uptake patterns affecting soil water sensor placement for drip irrigation management. **American Society of Agricultural Engineers**, v. 39, n. 6, p. 2007–2016, 1996.

COELHO, G.; SILVA, A. M.; REZENDE, F. C.; SILVA, R. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Efeito de épocas de irrigação e de parcelamento de adubação sobre a produtividade do cafeeiro “Catuaí”. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p. 67–73, 2009.

CONAB, C. N. A. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. **Monitoramento agrícola-Safra 2015/2016**. v. 3, n. 9, p. 1–174, 2016.

_____. Acompanhamento da safra brasileira de café safra 2017. **Primeiro levantamento janeiro 2017**. v. 4, n. 1, p. 98, 2017.

_____. 2º Levantamento da Safra de Café de 2018 - maio 2018. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 5, n. 1, p. 70, 2018.

_____. 1º Levantamento da Safra de Café de 2019 - janeiro 2019. **Acompanhamento da safra brasileira de café**, v. 5, n. 1, p. 70, 2019.

COSTA, J. D. O. **Padrões de resposta termal ao déficit hídrico na cultura do café irrigado por gotejamento**. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós graduação em Engenharia de sistemas agrícolas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2016.

DaMATTA F. M. Drought as a multidimensional stress affecting photosynthesis in tropical tree crops. In: HERMANTARANJAN A. (Ed.), *Advances in plant physiology*. Vol. 5, Jodhpur, Scientific Publishers. p. 227-265, 2003.

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

DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. Relações hídricas no cafeeiro. **Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p. 44, 2002.

DARDENGO, M. C. J. D. **Influência Da Disponibilidade Hídrica No Crescimento Inicial Do Cafeeiro Conilon**. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós graduação em Produção Vegetal. Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

DARDENGO, M. C. J. D.; REIS, E. F.; PASSOS, R. R. Influência da disponibilidade hídrica no crescimento inicial do cafeeiro conilon. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 25, n. 6, p. 1–14, 2009.

DELAZARI, F. T.; FERREIRA, M. G.; SILVA, G. H.; DARIVA, F. D.; FREITAS, D. S.; NICK, C. Eficiência no uso da água e acúmulo de matéria na batata-doce em função de lâminas de irrigação. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 115–128, 2017.

DIAS, P. C.; ARAÚJO, W. L.; MORAES, G. A. B. K.; POMPELLI, M. F.; BATISTA, K. D.; CATEN, A. T.; VENTRELLA, M. C.; DaMATTA, F. M. **Crescimento e alocação de biomassa em duas progênies de café submetidas a déficit hídrico moderado**. Congresso De Pesquisas Cafeeiras, 2005.

EMBRAPA. **Características das principais variedades de café cultivadas em Rondônia**. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/54346/1/Doc93-cafe.pdf>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

EVETT, S. R.; TOLK, J. A.; HOWELL, T. A. Soil Profile Water Content Determination: Sensor Accuracy, Axial Response, Calibration, Temperature Dependence, and Precision. **Vadose Zone Journal**, v. 5, p. 894–907, 2006.

FAO. **Crops and Drops: Making the Best Use of Water for Agriculture**. Disponível em: <www.fao.org/DOCREP/005/Y3918E/Y3918E00.htm>. Acesso em: 15 maio. 2018.

FERRÃO, R. G.; FERRÃO, M. A. G.; FONSECA, A. F. A.; VOLPI, P. S.; VERDIN FILHO, A. C.; LANI, J. A.; MAURI, A. L.; TÓFFANO, J. L.; TRAGINO, P. H.; BRAVIM, A. J. B.; MORELLI, A. P. **Jequitibá Incaper ES8122: nova variedade clonal de café conilon de maturação intermediária para o Espírito Santo**. (Incaper, documento. 220c), p. 6, 2013.

FERRAREZI, R. S.; DEUS, F. P.; MARTINS, G. A.; PRIMO, R.; TESTEZLAF, R. Crescimento de mudas de café sob diferentes preparos do solo e irrigação para agricultura familiar. **Coffee Science**, v. 10, n. 1, p. 91–101, 2015.

FIALHO, G. S.; SILVA, D. P.; REIS, E. F.; FONSECA, A. F. A.; FERRÃO, M. A. G. Comportamento de plantas de café arábica submetidas a déficit hídrico durante o desenvolvimento inicial. **Idesia (Arica)**, v. 28, n. 3, p. 35–40, 2010.

FONSECA SOUZA, C.; MATSURA, E. E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, E. F.; OR, D. Sondas de TDR para a estimativa da umidade e da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, v. 11, n. 1, p. 12–25, 2006.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da Irrigação com Uso de Técnicas de Otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 1, n. 1, p. 24–49, 2007.

GAVA, R.; SILVA, E. E.; BAIIO, F. H. R. Calibração De Sensor Eletrônico De Umidade Em Diferentes Texturas De Solo / Electronic Moisture Sensor Calibration in Different Soil Textures. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 2, p. 154, 2016.

GENUCHTEN, M. T. VAN. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils1. **Soil Science Society of America Journal**, v. 44, n. 5, p. 892, 1980.

GONÇALVES, M. S.; RIBEIRO, W. R.; PINHEIRO, A. A.; MARTINS, C. A.; CÓSER, A.; REIS, E. F.; GARCIA, G. de O. Productive Aspects of Tropical Grasses under Different Soil Water Stresses. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 23, n. 4, p. 1–12, 2018.

GUEDES, F. A. F.; NOBRES, P.; RODRIGUES, D. C. F.; MENEZES, P. E. S.; RIBEIRO, M. A.; CORREA, R. L.; DaMATTa, F. M.; ALVES, M. F. Transcriptional memory contributes to drought tolerance in coffee (*Coffea canephora*) plants. **Environmental and Experimental Botany**, v. 147, p. 220–233, 2018.

HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**. v. 103, p. 137–157, 2000.

HOTT, M.; REIS, E. F.; LIMA, V.; PEREIRA, L.; GARCIA, G. Development and Productivity of Tomato Plants under Water Deficit. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 21, n. 2, p. 1–10, 2018.

INCAPER. Café conilon melhoradas, técnicas de produção com variedades. **Circular técnica** n° 03-i, p. 76, 2012.

____. **Cafeicultura - Café Conilon**. Vitória - ES 2015. Disponível em: <<https://incaper.es.gov.br/cafeicultura-conilon>>. Acesso em: 17 out. 2018.

KARATAS, B. S.; AKKUZU, E.; UNAL, H. B.; ASIK, S.; AVCI, M. Using satellite remote sensing to assess irrigation performance in Water User Associations in the Lower Gediz Basin. Turkey. **Agricultural Water Management**, v. 96, n. June, p. 982–990, 2009.

- KOZLOWSKI T. T, PALLARDY S. G. **Physiology of woody plants**. San Diego, Academic Press. 411 p, 1997.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. **Water relations of plants and soils**. San Diego, Academic Press, 1995.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Paulo: Rima Artes e Textos, 2000.
- LIMA, E. **Efeito do estresse hídrico sobre o crescimento de cultivares de cana-de-açúcar**. Viçosa: Dissertação (Mestrado) Pós Graduação em Meteorologia agrícola. Universidade Federal de Viçosa, 2012.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. **O uso da Irrigação no Brasil**, 1999.
- LIU, X.; QI, Y.; LI, F.; YANG, Q.; YU, L. Impacts of regulated deficit irrigation on yield, quality and water use efficiency of Arabica coffee under different shading levels in dry and hot regions of southwest China. **Agricultural Water Management**, v. 204, n. April, p. 292–300, 2018.
- LOBO, V. **Respostas moleculares fisiológicas de dois genótipos de cafeeiros submetidos a diferentes períodos de restrição hídrica**. Dissertação (Mestrado) - Programa de pós graduação em Biotecnologia Vegetal, Universidade Federal de Lavras, 2013.
- LOPES, M. N.; POMPEU, R. C. F. F.; SILVA, R. G.; REGADAS, L J. G. L.; LACERDA, C. F.; BEZERRA, M. A. Fluxo de biomassa e estrutura do dossel em capim- braquiária manejado , sob lâminas de irrigação e idades de crescimento. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 5, p. 490–500, 2014.
- MAGALHÃES, A. C. N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal. São Paulo, EPU, v.1, p.363 - 50, 1985.
- MANTOVANI, E. C.; DELAZARI, F. T.; DIAS, L. E.; ASSIS, I. R.; VIEIRA, G. H.; LANDIM, F. M. Eficiência no uso da água de duas cultivares de batata-doce em resposta a diferentes lâminas de irrigação. **Horticultura Brasileira**, v. 31, n. 4, p. 602–606, 2013.
- MARTINS, C. C.; REIS, E. F.; BUSATO, C.; PEZZOPANE, J. E. M. Crescimento inicial do café Conilon (*Coffea canephora Pierre ex Froehner*) sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, v.14, n.3, p.193-201, 2006.
- MARTINS, C. C.; SOARES, A. A.; BUSATO, C.; REIS, E. F. dos. Manejo da irrigação por gotejamento no cafeeiro (*Coffea arabica L.*). **Bioscience Journal**, v. 23, n. 2, p. 61–69, 2007.
- MISHRA, M.; SLATER, A. Recent Advances in the Genetic Transformation of Coffee. **Biotechnology Research International**, p.17, 2012.
- NAGAKURA, J.; SHIGENAGA, H.; AKAMA, A. Growth and transpiration of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) and Hinoki cypress (*Chamaecyparis obtusa*) seedlings in response to soil water content. **Tree Physiology**, v. 24, p. 1203–1208, 2004.
- NASCIMENTO, E. C. S.; SILVA, V. F.; ANDRADE, L. O.; LIMA, V. L. A. **Influência do estresse hídrico no crescimento de pimenteirias biquinho com diferentes águas**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia, Fortaleza - CE, 2015.
- NASCIMENTO, S. P.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 8, p. 853–860, 2011.

- NOGUEIRA, R. J. M. C. **Expressões fisiológicas da aceroleira (*Malpighia emarginata* D.C.) em condições adversas**. São Carlos: Tese (Doutrado), Programa de Pós Graduação, Universidade Federal de São Carlos-SP, 1997.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; MORAES, J. A. P. V.; BURITY, H. A.; BEZERRA NETO, E. Modifications in vapor diffusion resistance of leaves and water relations in barbados cherry plants under water stress. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 1, p. 75–87, 2001.
- NOGUEIRA, R. J. M. C.; SILVA, E. C. **Comportamento estomático em plantas jovens de *Schinopsis brasiliensis* Engl. cultivadas sob estresse hídrico**. Iheringia, Série Botânica, v.57, n.1, p.31-38, 2002.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E.; ARAÚJO, J. D.; LOURENÇO, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília : Embrapa-SEA, 1991. p.189-253.
- NUNES, M. S.; ROBAIANA, A. D.; PEITER, M. X.; BRAGA, F. V. A.; BRAGAGNOLO, J. Comparação de lâminas brutas obtidas por métodos via solo e demanda evaporativa para manejo da irrigação. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.9, n.1, p.39-43, 2015.
- OLIVEIRA, E. C. A.; OLIVEIRA, R. I.; ANDRADE, B. M. T.; FREIRE, F. J.; JÚNIOR, M. A. L.; MACHADO, P. R. Crescimento e acúmulo de matéria seca em variedades de cana-de-açúcar cultivadas sob irrigação plena. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 951–960, 2010.
- OLIVEIRA, A. C. R.; PIZETTA, S. C.; REIS, E. F. Análise do desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon cultivar. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 15, p. 90–100, 2012.
- PADOVAN, M. P.; BROOK, R. M.; BARRIOS, M.; CRUZ-CASTILLO, J. B.; VILCHEZ-MENDOZA, S. J.; COSTA, A. N.; RAPIDEL, B. Water loss by transpiration and soil evaporation in coffee shaded by *Tabebuia rosea* Bertol . and *Simarouba glauca* dc. compared to unshaded coffee in sub-optimal environmental conditions. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 248, n. April 2017, p. 1–14, jan. 2018.
- PELOSO, A. E.; TATAGIBA, S. D.; REIS, E. F.; PEZZOPANE, J. E. M.; AMARAL, J. F. T. do.; Photosynthetic limitations in leaves of arabic coffee promoted by the water deficit. **Coffea Science**, v.12, n.3 p. 389–399, 2017.
- RENA, A. B.; DaMATTA, F. M. O Sistema radicular do cafeeiro: Morfologia e ecofisiologia. In: ZAMBOLIM, L. **O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café**. Minas Gerais: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 2002. p. 36-37.
- PEREIRA, L. R. **Crescimento , produção e rendimento dos clones da variedade ‘ conilon vitória**. Dissertação (Mestrado), Programa de pós graduação em Produção Vegetal, Universidade federal do espírito santo, 2015.
- PEZZOPANE, J. R. M.; CASTROL, F. S.; PEZZOPANE, J. E. M.; SAIVA, G. S.; BONOMO, R. Caracterização do atendimento hídrico para o café conilon no conilon no estado do espírito santo. **VI Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil**, p. 4, 2010.
- PIMENTEL, J. S.; SILVA, T. J. A.; JÚNIOR, J. C. F. B.; FOLEGATTI, M. V; MONTENEGRO, A. A. A. Estimativa da transpiração em cafeeiros utilizando-se sensores de dissipação térmica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 81, p. 187–195, 2010.
- PINHEIRO, H. A.; DAMATTA, F.; CHAVES, A. R. M.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Drought Tolerance is Associated with Rooting Depth and Stomatal Control of Water Use in

- Clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, v. 96, p. 101–108, 2005.
- PIZETTA, S. C.; RODRIGUES, R. R.; RIBEIRO, W. R.; REIS, E. F.; COLODETTI, T. V. Análise do crescimento do cafeeiro Arábica, em relação à fração de água transpirável do solo. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 46–54, 2016.
- REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas - mensuração do crescimento**. Belém, CPATU, 35p, 1978.
- RENA, A. B. .; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Irrigação & tecnologia moderna. Brasília: ABID**, p. 34–41., 2000.
- RIBEIRO, W. R.; GONÇALVES, M. S.; PINHEIRO, A. S.; CAPELINI, V. A.; FERREIRA, D. S.; REIS, E. F. Limitation of Relative Transpiration and Growth of Arabic Coffee in Response to Water Deficit. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 24, n. 1, p. 1–12, 2018.
- RIBEIRO, W. R.; PINHEIRO, A. A.; FERREIRA, D. S.; GONÇALVES, M. S.; APARECIDA, C.; REIS, E. F. Water Deficit as a Limiting Factor to the Initial Growth of Coffee Conilon Variety Diamante. **Journal of Experimental Agriculture International** v. 22, n. 5, p. 1–11, 2018.
- RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; REIS, E. F.; RIBEIRO, W. R. Diferentes intervalos de irrigação no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon, variedade robusta tropical. **Biosfera**, v. 9, n. 16, p. 742–751, 2013.
- RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; REIS, E. D.; RIBEIRO, W. R.; GARCIA, G. O. Fração de água transpirável no solo no desenvolvimento inicial do cafeeiro conilon. **Coffee Science**, v. 10, n. 3, p. 337–345, 2015.
- RODRIGUES, R. R.; PIZETTA, S. C.; SILVA, N. K. C.; RIBEIRO, W. R.; REIS, E. F. Crescimento inicial do cafeeiro conilon sob déficit hídrico no solo. **Coffee Science**, v. 11, n. 1, p. 33–38, 2016.
- SACCON, P. Water for agriculture, irrigation management. **Applied Soil Ecology**, v. 123, n. October, p. 793–796, fev. 2018.
- SANCHES, A. C.; GOMES, E. P.; RICKLI, M. E.; FASOLIN, J. P.; SOARES, M. R. C.; GOES, R. H. T. B. Produtividade e valor nutritivo do capim Tifton 85 irrigado e sobressemeado com aveia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 2, p. 126–133, 2015.
- SANTOS, D. B.; CECÍLIO, R. A.; COELHO, E. F.; BATISTA, R. O.; SILVA, A. J. P. Calibração de TDR: desempenho de alguns métodos e equações de calibração. **Revista Agrarian**, v. 5, n. 16, p. 131–139, 2012.
- SANTOS, R. **Calibração de sensores FDR (frequency domain reflectometry) para estimativa da umidade do solo**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós graduação em Ciências Agrárias. Universidade Federal da Bahia, 2005.
- SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 3, p. 287–294, 1998.
- SCALON, S. P. Q.; MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M.; KODAMA, F. M.; KISSMANN, C. Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de Mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, v. 21, n. 4, p. 655–662, 2011.
- SHAO, H.; CHU, L.; ABDUL, C.; ZHAO, C. Water-deficit stress-induced anatomical

changes in higher plants . **Plant biology and pathology**, v. 331, p. 215–225, 2008.

SILVA, B. M.; OLIVEIRA, G. C.; SERAFIM, M. E.; SILVA, J. J. J.; COLOMBO, A.; LIMA, J. M. Accuracy and calibration of capacitance probe in a rhodic ferralsol planted with coffee. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 277–286, 2012.

SILVA, M. A. V.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; OLIVEIRA, A. F. M.; SANTOS, V. F. Jovens de aroeira submetidas a diferentes regimes hídricos. **Revista Árvore**, v. 32, n. 2, p. 335–344, 2008.

SILVA, P. E. M.; CAVATTE, P. C.; MORAIS, L. E.; MEDINA, E. F.; DaMATTA, F. M. 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**, v. 87, p. 49–57, 2013.

SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1257–1265, 2011.

SILVA, T. G. F.; PRIMO, J. T. A.; SILVA, M. S.; MOURA, M. S. B.; SANTOS, D. C.; SILVA, M. C.; ARAÚJO, J. E. M. Indicadores de eficiência do uso da água e de nutrientes de clones de palma forrageira em condições de sequeiro no Semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 73, n., p. 184–191, 2014.

SILVA, V. A.; ANTUNES, W. C.; LOURENZZO, B.; GUIMARÃES, S. Resposta fisiológica de clone de café Conilon sensível à deficiência hídrica enxertado em porta - enxerto tolerante. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 45, n. 5, p. 457–464, 2010.

SOUSA, V. F.; FRIZZONE, J. A.; FOLEGATTI, M. V.; VIANA, T. V. D. A. Eficiência do uso da água pelo maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio níveis. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 9, n. 3, p. 302–306, 2005.

SOUZA, A. P.; SILVA, A. C.; LEONEL, S.; SOUZA, M. E.; TANAKA, A. A. Evapotranspiração e eficiência do uso da água no primeiro ciclo produtivo da figueira ‘ roxo de valinhos ’ submetida a cobertura morta. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 4, p. 1127–1138, 2014.

SOUZA, C. F.; MATSURA, E. E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 63–68, 2002.

SOUZA, C. F.; PIRES, R. C. M.; MIRANDA, D. B. DE; VARALLO, A. C. T. Calibração de sondas FDR e TDR para a estimativa da umidade em dois tipos de solo. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 597–606, 2013.

SOUZA, C. F.; SILVA, C. R.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; COELHO, E. F. Monitoramento Do Teor De Água No Solo Em Tempo Real Com As Técnicas De TDR e FDR. **Irriga**, v. 1, n. 01, p. 26, 2016.

SOUZA, V. F.; COÊLHO, E. F.; ANDRADE JR, A. S.; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob irrigation frequencies. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 183–188, 2000.

STACHEDER, M.; KOENIGER, F.; SCHUHMANN, R. New Dielectric Sensors and Sensing Techniques for Soil and Snow Moisture Measurements. **Sensors**, v. 9, p. 2951–2967, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5^a. ed. Piracicaba: Artmed, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MAX, I.; ANGUS, M. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6^a. ed.

Porto Alegre : Artmed, 2017.

TATAGIBA, S. D.; PELOSO, A. F.; AMARAL, J. F. T.; PEZZOPANE, J. E. M. O Déficit hídrico e o acúmulo de matéria seca em plantas de café arábica (*Coffea arabica l.*), cultivar catuaí vermelho. **42° Congresso De Pesquisas Cafeeiras**, Serra Negra - SP, 2016.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A. I.; TEIXEIRA, W. G. Manual de métodos de análise de solo. 3° ed, Brasília - DF, p. 573, 2017.

TOMMASELLI, J. T. G.; BACCHI, O. O. S. Calibração de um equipamento de TDR para medida de umidade de solos. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1145–1154, 2001.

TOPP, C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. P. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. **Water resources research**, v. 16, n. 3, p. 574–582, 1980.

VICENTE, M. R.; MANTOVANI, E. C.; FERNANDES, A. L. T.; DELAZARI, F. T.; FIGUEREDO, E. M. Efeito de diferentes lâminas de irrigaçãp nas variáveis de desenvolvimento e produçao do cafeeiro irrigado por pivô central. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 528–543, 2015.

WILLMOTT, C. J.; ACKLESON, S. G.; DAVIS, R. E.; FEDDEMA, J. J.; KLINK, K. M.; LEGATES, D. R.; O'DONNELL, J.; ROWE, C. M. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, v. 90, n. 5, p. 8995, 1985.

ZANETTI, S. S.; CECÍLIO, R. A.; SILVA, V. H.; ALVES, E. G. General calibration of TDR to assess the moisture of tropical soils using artificial neural networks. **Journal of Hydrology**, v. 530, p. 657–666, nov. 2015.