



DEBORA VALIM DA SILVA

**AJUSTES TEMPORAIS DE CARACTERÍSTICAS FOLIARES
E DE COPA EM CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L. CV MUNDO
NOVO) SOB EXCLUSÃO PARCIAL DE CHUVA EM LAVRAS,
MG.**

**LAVRAS- MG
2017**

DEBORA VALIM DA SILVA

**AJUSTES TEMPORAIS DE CARACTERÍSTICAS FOLIARES E DE COPA EM
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L. CV MUNDO NOVO) SOB EXCLUSÃO PARCIAL DE
CHUVA EM LAVRAS, MG.**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal para obtenção do título de mestre.

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa

Orientador

Dra. Ane Marcela das Chagas Mendonça

Co-orientadora

LAVRAS- MG

2017

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

Silva, Debora Valim da.

Ajustes temporais de características foliares e de copa em
cafeeiro (*Coffea arabica* L. cultivar Mundo Novo) sob exclusão
parcial de chuva em Lavras, MG. / Debora Valim da Silva. - 2017.
52 p. : il.

Orientador(a): João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa.

Coorientador(a): Ane Marcela das Chagas Mendonça.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. Cultura do café. 2. Disponibilidade hídrica. 3. Ajustes
foliares. I. Barbosa, João Paulo Rodrigues Alves Delfino. II.
Mendonça, Ane Marcela das Chagas. III. Título.

DEBORA VALIM DA SILVA

**AJUSTES TEMPORAIS DE CARACTERÍSTICAS FOLIARES E DE COPA EM
CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L. CV MUNDO NOVO) SOB EXCLUSÃO PARCIAL DE
CHUVA EM LAVRAS, MG.**

**LEAF AND CANOPY TEMPORAL ADJUSTMENTS OF COFFEE PLANTS (*Coffea
arabica* L. CV MUNDO NOVO) UNDER PARTIAL RAIN EXCLUSION IN LAVRAS,
MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia/Fisiologia Vegetal
para obtenção do título de mestre.

APROVADA em 07 de agosto de 2017.

Dra. Marines Ferreira Pires UFLA

Dra. Milene Alves de Figueiredo Carvalho EMBRAPA – CAFÉ

Prof. Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa UFLA
Orientador

Dra. Ane Marcela das Chagas Mendonça UFLA
Co-orientadora

LAVRAS- MG

2018

À minha família, minha mãe Terezinha, meu pai Antonio e meu irmão Renan.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida e por me iluminar nos meus caminhos.

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realização do mestrado, pela estrutura para realização do experimento e aos professores pelos ensinamentos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a CAPES pela concessão da bolsa

Ao meu orientador Dr. João Paulo Rodrigues Alves Delfino Barbosa pela orientação.

À minha Família, por sempre acatar minhas ideias e estar ao meu lado em todos os momentos.

Ao meu irmão Renan pela amizade e sintonia.

Aos velhos e novos colegas do laboratório de Ecofisiologia vegetal e orientados do professor Paulo que compartilham do mesmo laboratório que o nosso, em especial aos colegas que cooperaram com o experimento.

À Mayrá pelas dicas de estatística. Ao Daniel e Melina pelos inúmeros cafés cheios de histórias e risadas.

À Ane Marcela, pela recente amizade, realização das análises estatísticas, dicas para finalização dessa dissertação e paciência para me ajudar nas correções.

A todos os funcionários do Departamento de Fisiologia Vegetal e Departamento de Botânica.

Ao Laboratório de Anatomia Vegetal pelo espaço cedido para realização do trabalho de anatomia e ao Laboratório de Nutrição e Metabolismo de plantas.

As amigas de República: Carol, Edilene, e as mascotes Tutti e Alegria pelos momentos divertidos vividos em Lavras. Em especial a Carol que esteve comigo desde o dia da prova de seleção.

Ao Davi pela paciência em me ajudar em tudo que precisei.

Aos colegas da fisiologia vegetal em especial Ana Luíza, Bárbara, Cecília e Suellen pelos momentos passados juntos. A Fernanda pelas risadas, idas ao cafezal e parceria no experimento.

As minhas amigas que mesmo de longe contribuíram para que desse tudo certo.

E a todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho....

Gratidão!

“A maior recompensa do trabalho de um homem não é o que se ganha com isso, mas o que ele se torna com isso”.

Jonh Ruskin

RESUMO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e a região do Sul de Minas Gerais concentra cerca de 50% de toda a produção nacional. Praticamente quase toda plantação é da espécie *Coffea arabica*. O aparecimento de condições meteorológicas cada vez mais extremas é um dos grandes desafios que o Brasil enfrenta impactando de várias formas na agricultura. Dada a sua importância econômica e social e os impactos da variação climática sobre a fisiologia do cafeeiro o objetivo do trabalho foi verificar em condições de campo como ocorre a dinâmica temporal de ajustes de características foliares e de copa e o teor relativo de água em plantas de *C. arabica* sob exclusão parcial de chuva. O experimento foi instalado em uma lavoura de café de seis anos de idade da Universidade Federal de Lavras, e as análises foram realizadas no período de dezembro de 2015 a janeiro de 2017. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto de três condições hídricas, com cobertura e com exclusão (CCE), com cobertura e sem exclusão (CSE) e sem cobertura e sem exclusão (SSE), com 2 repetições por bloco. Os valores de potencial mátrico do solo, teor relativo de água (TRA), área foliar específica (AFE), índice de área foliar (IAF) e NDVI foram avaliados pelo teste-t (dados paramétricos) e pelo teste de Mann-Whitney (dados não-paramétricos) ($P < 0,05$). Já para as análises de anatomia foliar os dados foram analisados por ANOVA, considerando duas fontes de variação (tratamento X épocas do ano) e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Não foram observadas diferenças significativas para TRA e AFE entre as condições hídricas, em cada época avaliada. Entretanto, CCE apresentou redução nas médias de IAF e NDVI no Outono e no Inverno-2016. Isso concorda com a redução observada nos valores de potencial mátrico do solo nas mesmas épocas do ano. Embora não foram observadas diferenças para número e densidade de estômatos, durante o Inverno, as plantas de CCE apresentaram um aumento na espessura da cutícula, além de uma redução na espessura do parênquima paliçádico. SSE no inverno obteve o maior índice estomático e o maior diâmetro polar foi encontrado na primavera em CSE. Assim, sob condições de exclusão de chuva, a maior parte das mudanças das plantas de café foram relativas a modificações na copa, como observado para IAF e NDVI. Além disso, os resultados suportam a ideia de que ocorrem modificações de estruturas anatômicas foliares em plantas de diferentes tratamentos.

Palavras-chave: Cultura do café. Disponibilidade hídrica. Ajustes foliares. Ajustes da copa.

ABSTRACT

Brazil is the world's leading producer and exporter of coffee. The state of Minas Gerais, mostly the south region, is responsible for 50% of the whole national production. Almost all coffee plantations belong to species *Coffea arabica*. However, the Brazilian agricultural has been impacted by extreme climate conditions, being this situation a challenge for coffee production. Due its social and economic importance, monitoring the coffee crops is fundamental. The aim was to evaluate, under field conditions, the temporal dynamic of leaf and canopy adjustments and the water use efficiency of *C. arabica* plants under partial rain exclusion. The experiment was set in a six year old coffee plantation at Federal University of Lavras and the evaluations were assessed from December 2015 to January 2017. The experimental design was in a completely randomized blocks, composed of three hydric conditions: system with a rainfall exclusion system (SWE), system with no rainfall exclusion (SWNE), and no rainfall exclusion (NNE), with two repetitions each block. Soil matric potential, relative water content (RWC), specific leaf area (SLA), leaf index area (LAI), and NDVI were subjected to a t-test (for parametric data) or Mann-Whitney test (for non-parametric data) ($P < 0,05$). The leaf anatomy data were analysed by a two-way ANOVA (hydric conditions X seasons) and the averages were compared by Tukey's test ($P < 0,05$). There was no significant difference for RWC and SLA among the hydric conditions, in each season. However, the treatment SWE showed a marked reduction in LAI and NDVI averages through the Fall and Winter-2016. It agrees with the reduction in the soil matric potential, in the same seasons. Although there was no difference for stomatal number and density during the winter, plants grew under SWE conditions showed an increase in the cuticle thickness, besides a reduction in palisade parenchyma thickness. SWE in winter obtained the highest stomatal index and the largest polar diameter was found in spring in SWNE. Thus, under rain exclusion conditions mostly of the changes are relative to canopy modifications as observed for LAI and NDVI. Furthermore, the results support that coffee leaves modifies their structural anatomy in relation to the different hydric conditions.

Keywords: Coffee crop. Water availability. Leaf adjustments. Canopy adjustments.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1. Cultura cafeeira e a deficiência hídrica	12
2.1.1 – Aspectos socioeconômicos	12
2.1.2 – Aspectos fitotécnicos e fisiológicos	13
2.2. Impactos das mudanças climáticas na cultura do cafeeiro	14
2.3. Respostas do cafeeiro às variações ambientais	16
2.4. Abrigos de chuva como ferramentas experimentais	18
3. METODOLOGIA	19
3.1. Área experimental	19
3.2. Sistema de exclusão de chuva	19
3.2. Condições ambientais	20
3.3. Relações hídricas	21
3.4. Área Foliar Específica (AFE)	21
3.5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)	21
3.6. Índice de área foliar (IAF)	22
3.7. Anatomia foliar	22
3.9. Delineamento experimental e análise de dados	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1 Dados ambientais	24
4.1.1 Temperatura e precipitação	24
4.1.2 Potencial do Solo	25
4.2. Área foliar específica e Teor relativo de água	26
4.3. NDVI e IAF	28
4.4. Características anatômicas	30
5. CONCLUSÃO	38
REFERÊNCIAS	39
ANEXO A: Dados relacionados as características anatômicas de plantas de <i>Coffea arabica</i> submetidas a diferentes condições hídricas.	49
ANEXO B: Fotomicrografias das características anatômicas de plantas de <i>Coffea arabica</i> submetidas a diferentes condições hídricas	51

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor e exportador de café do mundo e o segundo maior consumidor deste produto. Possui uma área de aproximadamente 2,25 milhões de hectares plantados, sendo cerca de 287 mil produtores, com destaque para a agricultura familiar e pequenos produtores (MAPA, 2016). Minas Gerais, predominando o Sul de Minas, é a que concentra a maior produção de café, correspondendo a cerca de 50% de toda a produção nacional. Atualmente, a produção de café é fonte importante de receita para centenas de municípios, além de ser o principal gerador de empregos na agropecuária nacional (MAPA, 2016).

Segundo dados do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) (2016) o advento de condições meteorológicas cada vez mais incertas e extremas é um dos grandes desafios que o Brasil e o mundo enfrentam, impactando de várias formas na agricultura. As mudanças climáticas têm recebido atenção especial dos segmentos envolvidos com a agricultura no mundo, dado seu potencial de provocar perdas e/ou promover o deslocamento das áreas de cultivo (IPCC, 2016). Com relação à cafeicultura, as atenções dos cientistas têm se voltado para mitigar os efeitos do aquecimento global, cujos danos potenciais podem reduzir ou mesmo afetar substancialmente áreas consideradas tradicionalmente aptas para o cultivo do cafeeiro, como o Sul de Minas.

Considerando-se que os impactos de mudanças do clima em sistemas agrícolas não estão relacionados apenas à produtividade, mas também a aspectos socioeconômicos de comunidades rurais que dependem da disponibilidade de fatores ambientais, especialmente água, para seu sustento direto e indireto, pode-se dizer que estiagens severas representam grande ameaça à integridade de sistemas de produção de café no Sul de Minas, com riscos potenciais no curto e médio prazo sobre a economia da região, bem como do Brasil.

Dentre os impactos que as mudanças climáticas podem ter na produção das plantas, aqueles causados pela seca são os mais preocupantes. A seca resulta do déficit hídrico no solo e da elevação das temperaturas máximas e mínimas do ar.

Vários estudos (NOGUEIRA; SANTOS, 2000; INMAN-BAMBER; SMITH, 2005; MENDES et al., 2007; SILVA et al., 2008; GUO et al., 2010; LI et al., 2010; MARTINS et al.,

2010) têm indicado os impactos do estresse hídrico sob as variáveis fisiológicas em diversas espécies de plantas, em grande parte a de culturas de importância comercial. Sob restrição hídrica as plantas apresentam respostas em diferentes escalas de tempo e espaço para manter a assimilação de carbono e reduzir a transpiração, elevando ao máximo a eficiência de uso da água. Para o cafeeiro, em uma escala hierárquica que vai do nível foliar e do curto prazo, ao nível de copa e no longo prazo, muitos estudos indicam que a fotossíntese é restringida, a respiração aumenta e há quebra de produção de grãos (ANGELOCCI, 2002; BAKER, 1993; LIMA et al., 2002; ZAMBOLIM et al., 2006).

Entretanto essas constatações são fruto de trabalhos conduzidos com plantas jovens ou plantas em produção em casa de vegetação ou em curtos e esporádicos períodos de observação em condições de campo, permitindo incerteza sobre o comportamento de plantas produtivas em campo após algum tempo expostas a seca, limitando avanços tecnológicos e aplicações do conhecimento em condições mais amplas. Para tanto, a descrição dos impactos da seca sobre a produção de café carece de experimentos em condições de campo, utilizando parcelas permanentes de plantas em produção. Isso pode ser feito através de sistemas de exclusão de chuva. Tais experimentos permitem que as plantas possam expressar ajustes plásticos que permitirão, ou não, adequação a uma nova condição ambiental, atingindo um novo estado estável, tentando causar uma alteração mínima das condições do microclima (FAY, 2000; FOALE, 1986). De fato, resultados preliminares de potencial hídrico foliar em estudos conduzidos desde 2015 na área experimental da UFLA em experimento de campo com exclusão parcial de chuva têm mostrado que cafeeiros possuem ajustes fisiológicos que permitem otimizar a utilização da água disponível para manter balanço de carbono positivo, o que indica que é uma cultura com ajustes plásticos para maximizar a eficiência de uso da água.

Nesse contexto, o conhecimento de como e quando os cafeeiros ajustam suas características foliares e de copa, torna-se bastante útil para avaliação de várias práticas culturais (SILVA et al., 2011), para programas de melhoramento vegetal e questões administrativas e econômicas relacionadas ao gerenciamento da lavoura. Esses experimentos pode ser realizados através do uso dos abrigos de chuva, os sistemas de exclusão de chuva das parcelas de campo (FOALE, 1986). Ainda, em cenários de mudanças climáticas, para a previsão e correta quantificação dos fluxos de carbono, água e energia entre a biosfera e a atmosfera. E, por fim, tal conhecimento é importante para contribuir para tecnologias que permitam a economia da água, recurso natural de inestimável valor.

Diante do exposto, foram formuladas as seguintes hipóteses para estudar os ajustes que podem conferir maior eficiência de uso da água em cafeeiros em restrição da disponibilidade de água por exclusão parcial da chuva:

H0 – Em cafeeiros em restrição da disponibilidade de água por exclusão parcial da chuva há redução do teor relativo de água em relação a plantas sem restrição de chuva.

H1 - Em cafeeiros em restrição da disponibilidade de água por exclusão parcial da chuva há manutenção ou elevação do teor relativo de água em relação a plantas sem restrição de chuva.

H1' - neste caso, não são observadas alterações de características anatômicas ao longo do tempo e os ajustes fisiológicos para otimizar a absorção da água ocorrem apenas por ajustes de copa, controle no sentido *top-down*.

H1'' – neste caso, são observadas alterações de características anatômicas ao longo do tempo, junto a alterações da copa, que justificam o controle das relações hídricas em dois níveis hierárquicos para otimizar manter o teor relativo de água.

H1''' – neste caso, não são observadas alterações de características de copa ao longo do tempo que justificam o controle das relações hídricas, os ajustes fisiológicos ocorrem apenas na folha, controle no sentido *bottom-up* para manter o teor relativo de água.

Dessa maneira, o objetivo do trabalho foi verificar em condições de campo como ocorre a dinâmica temporal de ajustes de características foliares e de copa e o teor relativo de água em plantas de *C. arabica* sob exclusão parcial de chuva.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cultura cafeeira e a deficiência hídrica

2.1.1 – Aspectos socioeconômicos

As plantações comerciais de cafeeiro encontram-se distribuídas em diversas localidades do mundo, sendo que no Brasil o cultivo do cafeeiro se espalhou rapidamente, com produção voltada para o mercado doméstico (ECCARDI; SANDALJ, 2003; KOBAYASHI, 2007). Primeiramente foi introduzida na região sudeste, onde encontrou facilidade de adaptação devido às condições edafoclimáticas dessa região, com uma cadeia produtiva mais estruturada, devido a investimentos dos governos estaduais para incentivo do setor e a facilidade de escoamento da produção (CONAB, 2017). O cultivo expandiu, em seguida, para regiões com distribuição irregular de chuvas após serem adotadas novas tecnologias de cultivo (KOBAYASHI, 2007). A diversidade climática, bem como o manejo da cultura, faz com que o Brasil produza vários tipos de café, ampliando a capacidade de atender às exigências do mercado global, se destacando na qualidade e quantidade do produto (EMBRAPA, 2006).

Segundo relatório publicado em 2016 sobre o mercado do café pela Organização internacional do café (OIC) o ranking dos quatro maiores países produtores de café, no período 2015/16, foram: Brasil, em primeiro, com 48,4 milhões de sacas; seguido por Vietnã, com 27,5 milhões; Colômbia (14,0) e Indonésia (11,5). A participação desses países asiáticos na produção mundial aumentou nos últimos 25 anos e hoje alcança 45 milhões de sacas. Esse volume de produção se aproxima da safra do Brasil, que tem uma área plantada total de 2,22 milhões de hectares. A estimativa é que em 2017 os estados com maiores áreas cultivadas (Minas Gerais, Espírito Santo, São Paulo e Bahia) respondam por 91% da área total. Minas Gerais concentra a maior área plantada com o arábica, 1,21 milhão de hectares, correspondendo a 68,2% da área ocupada, em nível nacional (CONAB, 2017)

Atualmente, o agronegócio mundial do café movimenta bilhões de dólares anuais e envolve bilhões de pessoas (EMBRAPA, 2006). O café no Brasil tem sua importância não somente porque ocupa um lugar de destaque na economia nacional, mas, também por exercer importante função social, sendo gerador de um grande número de empregos (FREZZA, 2011).

2.1.2 – Aspectos fitotécnicos e fisiológicos

O cafeeiro é uma angiosperma eudicotiledônea, nativo das florestas tropicais da Etiópia, Quênia e Sudão, em altitudes de 1500-2800m. Pertence à família *Rubiacea*, dentro do gênero *Coffea*, na seção *Eucoffea*, na qual encontram-se duas espécies importantes economicamente, *Coffea arabica* e *Coffea canephora* (CAMARGO, 2010). É uma planta arbustiva, de caule lenhoso e lignificado, que possui um caule (tronco) vertical chamado de ortotrópico e ramos ou hastes laterais, os plagiotrópicos (MATIELLO et al., 2002). De produção bienal; a emissão de inflorescências e frutificação são descritas em dois anos consecutivos, sendo o primeiro a formação vegetal, seguida da indução e maturação das gemas florais. No segundo ano fenológico ocorre a florada, formação de chumbinhos e expansão dos frutos até a maturação (CAMARGO; CAMARGO, 2001). Autores relatam que esta esquematização do ciclo fenológico do cafeeiro ajuda na identificação de fases que são dependentes de água e fases em que a planta é beneficiada por um pequeno déficit hídrico (FIGUEIREDO, 2010), uma vez que essa cultura, assim como várias outras, é influenciada por vários fatores ambientais, como fotoperíodo, temperatura e distribuição das chuvas.

Dessa maneira, a qualidade do cafeeiro é influenciada por inúmeros fatores, dentre os quais, genéticos, ambientais, como a temperatura do ar e umidade nas épocas de maturação e colheita (SILVA, 2010), controle de pragas e doenças e os procedimentos na colheita e pós-colheita (BRANDÃO, 2015) e manejo nutricional, visto que, o solo, é a base que fornece água e elementos para nutrição e desenvolvimento das plantas (ECCARDI; SANDALJ, 2003; LEAL, 2012). Tradicionalmente, as melhores condições para o cultivo do cafeeiro são as temperaturas em torno de 18 e 22°C (ASSAD et al., 2004) e precipitação de 1.400 a 1.500 mm anuais e bem distribuídas durante o ano, sendo que no inverno o ideal é que o cafeeiro sofra um pequeno déficit hídrico. Contudo já são diversas cultivares adaptadas a regiões cultivada em condições de temperaturas mais altas e menor precipitação, como as que ocorrem na região Norte de Minas Gerais e nordeste do Brasil (MATIELLO, 2008).

Já a distribuição pluviométrica é um dos elementos que proporciona maior interferência fenológica, uma vez que regula a quantidade de umidade, no ar e no solo, levando a um forte impacto na produtividade. O abastecimento de água para uma cultura resulta de interações que se estabelecem ao longo do sistema solo-planta-atmosfera. As influências entre esses componentes tornam este sistema dinâmico e interligado, sendo que a condição hídrica da cultura dependerá sempre da combinação desses três segmentos (SANTOS; CARLESSO,

1998). No plantio, para a escolha de uma localidade, é necessário que se levantem principalmente informações de temperatura e precipitação, fatores estes que interferem na vida produtiva do cafeeiro (TAVARES et al., 2014).

As plantas adaptadas à seca possuem um sistema radicular com alta plasticidade, muitas vezes são profundos e vigorosos, como exemplo o *C. robusta* (PINHEIRO et al., 2004), sendo sua distribuição e morfologia dependentes da idade da planta (BRAGANÇA, 2005), do tipo de irrigação, do manejo nutricional adotados (BARRETO et al., 2006) entre outros. No *C. arábica* as raízes se concentram nas camadas superficiais do solo, mas diante de situações adversas elas podem alcançar profundidades de até três metros ou mais, absorvendo quantidades consideráveis de água durante longos períodos de estiagem (RENA; GUIMARÃES, 2000). Maiores sistemas radiculares permitem às raízes absorverem água em camadas mais profundas do solo, de modo a auxiliar na manutenção do *status* hídrico vegetal mesmo sob condições de déficit hídrico (DAMATTA, 2002). Sinais químicos vindo das raízes podem influenciar as respostas estomáticas ao estresse hídrico (DAVIES et al., 2002). Um solo com baixo conteúdo de água, conseqüentemente possui um potencial mátrico mais negativo; as plantas continuam absorvendo água enquanto seu potencial hídrico for menor (mais negativo) do que o da água do solo.

Para que a planta mantenha a turgescência das células em geral, a água perdida pela transpiração precisa ser constantemente renovada (DAMATTA; RAMALHO, 2006). Um componente fundamental para a manutenção da turgescência, em resposta à falta de água, é a diminuição da condutância estomática, mas com isto a difusão de CO₂ poderá ser afetada, e conseqüentemente provocará uma queda na taxa fotossintética (DAMATTA, 2003).

2.2. Impactos das mudanças climáticas na cultura do cafeeiro

A perspectiva de mudanças climáticas para os próximos anos, com previsão de aumento da média anual de temperatura e períodos maiores de seca, leva a uma preocupação em relação à agricultura (CAMARGO, 2010; SANTOS, 2017), inclusive à cultura do cafeeiro (CAMARGO, 2010). De acordo com estimativas recentes, espera-se uma elevação da temperatura em torno de 4°C até o fim do século, desencadeando várias alterações em todo o planeta, como mudança no regime das chuvas; elevação do nível do mar e aumento na frequência de eventos climáticos extremos (SALATI et al., 2004; IPCC, 2013; BUNN et al., 2015). O Brasil, com sua dimensão continental, possui uma considerável heterogeneidade

climática, tipos de solo e topografia. Espera-se que o clima se torne mais quente (com aumento gradativo e variável da temperatura média em todas as regiões do país entre 1°C e 6°C até 2100) e o regime de chuvas também vai mudar; de modo que a precipitação pluviométrica diminuirá significativamente em grande parte das regiões central, Norte e Nordeste do país; e aumentará nas regiões Sul e Sudeste (BUENO, 2014).

Segundo o IPCC (2016) as alterações climáticas contribuem para impactos significativos no meio ambiente, impondo uma série de desafios para diversos setores, em especial para o setor agrícola. O cafeeiro arábica foi uma das primeiras espécies avaliadas no que se refere aos efeitos das mudanças climáticas, e pressupõe-se a necessidade de adaptação ao ambiente e que, com isso, haja uma drástica redução nas áreas de produção (VENTURIN et al., 2013)

Dentre estes impactos no setor agrícola, a crise hídrica pode ser considerada a que mais prejudicou o desenvolvimento da agricultura moderna durante a história e que se estende até hoje. Entretanto atualmente há cada vez mais praticidade tecnológica e mecanização dos processos, desde o plantio a colheita, aliado ao uso de genótipos com maior potencial que garantem sucesso produtivo (SANTOS, 2017). Com frequência, têm sido observadas em áreas cafeeiras de Minas Gerais eventos de seca ou distribuição irregular de chuvas, essas condições associadas com extremos de temperatura causam déficit hídrico (VENTURIN et al., 2013). Segundo Camargo (2010), para o cafeeiro, relata-se que a distribuição pluviométrica é um dos elementos que proporcionam maior interferência, uma vez que sua ausência ou excesso de água, dependendo da fase fenológica na qual ocorra, implicará em prejuízos, tanto no acúmulo de matéria seca (crescimento) quanto na produtividade e qualidade dos frutos (HUNTER; ERICKSON, 1952; SIONIT; KRAMER, 1977).

Em consequência da falta de água o funcionamento do metabolismo geral do cafeeiro sofre alterações; como a redução do fluxo de vapor, transpiração, redução da absorção de água e nutrientes pelo sistema radicular (MATIELLO, 1987) e restrições bioquímicas, que podem limitar a fixação fotossintética de CO₂ (LIMA et al, 2002). A irreversibilidade das alterações provocadas pela deficiência hídrica vai depender do genótipo, da duração, da severidade e do estágio de desenvolvimento da planta (SANTOS; CARLESSO, 1998) e as adaptações de respostas ao déficit são resultado de eventos integrados que ocorrem em todos os níveis de organização.

De modo geral a seca deve ser considerada como um estresse multidimensional, pois se refere a um período em que a precipitação não consegue acompanhar o potencial de evapotranspiração (DAMATTA, 2003), afetando a umidade do solo, a distribuição do sistema radicular, o tamanho da copa e as taxas de desenvolvimento dos cultivos, sendo no final responsável pela queda da produção do cafeeiro (CARVALHO; NETO, 2011). Esses episódios de secas são ainda piores nos trópicos, pois são agravados pela alta radiação solar e pela temperatura (DAMATTA, 2003).

Há uma realidade de crescimento populacional e com isto uma necessidade de um aumento da produção de alimentos para acompanhar o ritmo que atenda a demanda de consumo. Diante disto, um dos principais fatores limitantes à produção são as condições climáticas, porque apesar de prevista, não pode ser controlada, e por vezes, pode ocorrer situações extremas ou alterações nos padrões de precipitação (SANTOS, 2017). Encontrar cultivares com características de tolerância à seca, é importante e torna possível ao produtor expandir a janela de plantio para meses mais secos e também utilizar áreas com menor índice de umidade no solo, pondo fim ou reduzindo o problema da oferta insuficiente (RECH, 2007).

2.3. Respostas do cafeeiro às variações ambientais

O órgão de maior plasticidade em resposta às alterações ambientais e que constitui o principal sítio na produção de fotoassimilados é a folha (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009; DIAS et al., 2005; MELO, 2008). Geralmente as folhas são um bom indicador da disponibilidade de água e luz presente no habitat de uma espécie (MARCHI et al., 2008). As variações na anatomia das folhas proporcionam às plantas a capacidade de superar condições desfavoráveis ao crescimento e à sobrevivência (BENETTI et al., 1992; GRISI et al., 2008). Estas variações estão relacionadas, em grande parte, com o hábitat, representando uma importante resposta plástica das plantas às condições ambientais, especialmente à disponibilidade hídrica (DIAS et al., 2005).

No cafeeiro, pequenas alterações das relações hídricas podem influenciar no crescimento da planta, mesmo sem ocorrer sintomas típicos como a murcha foliar (SILVA et al., 2008). Em um estágio mais avançado, a falta de água leva as folhas a apresentarem certo grau de enrolamento, paralelo à nervura central. Já o desfolhamento ocorre apenas quando a seca é muito acentuada (MAZZAFERA, 1987). Dessa forma, características anatômicas das folhas podem ser importantes para determinar o nível de tolerância ao déficit hídrico

(BATISTA et al., 2010). Em uma fase anterior ao murchamento foliar em respostas a variação da quantidade de água disponível, radiação solar e temperatura, ocorre uma variação na anatomia foliar, atribuindo características adaptativas para o ótimo desenvolvimento da planta (SACK; HOLBROOK, 2006; BRODRIBB et al., 2007).

A combinação de seca e altas temperaturas afetam a permanência das folhas na planta, pois promoverem uma diminuição dos níveis de carboidratos nas folhas. Assim como os frutos são importantes drenos de carboidratos, os desfolhamentos causados por seca e alta temperatura tornam-se assim mais severos durante a frutificação e após a colheita. Distúrbios mais sérios, como depauperamento e "seca de ponteiros", têm sido associados com baixa reserva de carboidratos (RENA et al., 1986). As características foliares podem diferenciar plantas de diferentes habitats, como as folhas do sol que tendem a ser menores e mais espessas do que as folhas de sombra (WYLIE, 1949; MEDRI, PEREZ, 1979; MEDRI; LLERAS 1980; LARCHER, 1984).

A anatomia foliar das diferentes variedades de cafeeiro demonstra plasticidade para fatores ambientais como as condições de radiação solar (BALIZA, 2011; BALIZA et al., 2012), disponibilidade hídrica (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008), apresentando alterações quanto às espessuras da cutícula, do limbo, do parênquima paliçádico e esponjoso, dimensões estomáticas, dentre outras características (NASCIMENTO et al., 2006; RAMIRO et al., 2004; BATISTA et al., 2010).

É válido ressaltar que, as plantas respondem de forma diferente ao estresse hídrico quando encontradas em ambientes controlados e em condições de campo, porque outros fatos acompanham o déficit hídrico (LOPES et. al., 2009). Assim, diante das previsões de períodos prolongados de estiagem, será necessário o avanço no desenvolvimento de cultivares mais tolerantes, bem como novas de tecnologias essenciais na manutenção da produção agrícola brasileira e mundial. Como a água para a irrigação pode se tornar escassa, manter a produtividade sem a utilização dos recursos hídricos é importante do ponto de vista econômico e ambiental. Uma forma é compreender os efeitos da duração e da intensidade do déficit hídrico sobre o comportamento de diferentes genótipos de café arábica pode ser através de estudos fisiológico, utilizando abrigos de chuva (FOALE, 1986) e de características anatômicos que busquem verificar os mecanismos biológicos envolvidos na resposta do cafeeiro arábica às limitações hídricas (GRISI et al, 2008; REIS, 2014).

2.4. Abrigos de chuva como ferramentas experimentais

As mudanças climáticas preveem alterações nos padrões de precipitação e estas podem afetar as plantas impactando na sua produtividade e diversidade biológica. Os sistemas de exclusão de chuva, também chamados de “abrigos de chuva” são ferramentas usadas em pesquisas agrícolas que são úteis para manejo experimentais de padrões de precipitação (FAY, 2000; FOALE, 1986). Tais abrigos aumentam a eficiência de experimentos de campo nas relações com a água da planta, podendo proporcionar em caso de culturas irrigadas o controle sobre o reabastecimento da água da terra, permitindo o planejamento do tempo e a intensidade do déficit hídrico que as plantas irão experimentar em um ambiente de campo normal (FOALE, 1986). Numerosos projetos foram descritos para esses sistemas de exclusão de chuva, desde estruturas pequenas e fixas destinadas a excluir as chuvas das zonas radiculares de uma única planta (JACOBY et al., 1988) até estruturas móveis, cobrindo as plantas (MARTIN et al., 1988). O tipo de trilho mais utilizado é constituído por trilhos de aço montados de diferentes maneiras, dependendo da altura da cultura e do tipo de solo (FOALE, 1986).

Existem alguns critérios de design básicos aplicáveis a todos esses sistemas de exclusão, em todos os casos, o objetivo é excluir a chuva das parcelas, mas o mais importante é que os abrigos devem causar uma alteração mínima das condições do microclima (FAY, 2000). A simplicidade e os menores custos de construção de “abrigos” de localização fixa fazem com que estes sejam os mais utilizados. Abrigos simples podem fornecer controle sobre o tempo de seca já abrigos mais elaborados podem incluir sistemas de irrigação que permitem o controle sobre o tempo e a extensão diária, semanal ou sazonal dos períodos úmidos e secos, independentemente dos padrões de precipitação ambiente (FAY et al., 2000).

Os impactos microclimáticos típicos dos abrigos fixos de chuva incluem aumento da temperatura do ar, diminuição da radiação solar, do vento e do déficit de pressão de vapor (DUGAS; UPCHURCH 1984; JACOBY et al., 1988; CLARK; REDDELL 1990; HUANG et al, 1994; HUDAK; PATTERSON, 1996). Mesmo que os abrigos fixos possam ser arquitetados para minimizar esses efeitos, eles devem ser acompanhados por parcelas controle para avaliar os impactos dos abrigos (FAY, 2000).

Esses abrigos de chuvas podem ser uteis para a manipulação de diversos experimentos, como: comparação de culturas de sistema irrigado e não irrigado; no estudo da estimativa de

água disponível no solo para o crescimento de uma cultura; na triagem de genótipos para respostas ao estresse hídrico; nutrição vegetal e efeitos de salinidade e de estudos fisiológicos de planta sob estresse hídrico no campo (FOALE, 1986). Dessa forma o objetivo do trabalho foi verificar em condições de campo como ocorre os ajustes temporais de características foliares e de copa e a eficiência do uso da água em cafeeiros sob exclusão parcial de chuva.

3. METODOLOGIA

3.1. Área experimental

O experimento foi conduzido em um cafezal localizado na Universidade Federal de Lavras, Lavras- MG, Brasil (21°13'S e 44°57'O), com área útil de 4216 m². O clima nessa região, de acordo com a classificação de “Köppen”, é do tipo Cwb, com inverno seco e chuvas predominantes no verão com temperatura média anual em torno de 19,4°C e precipitação média de 1.530mm (BRASIL, 1992; DANTAS, 2007). A espécie utilizada foi *Coffea arabica* L., cultivar Mundo Novo, plantado em janeiro de 2011, com espaçamento de 4m x 1m. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférrico.

3.2. Sistema de exclusão de chuva

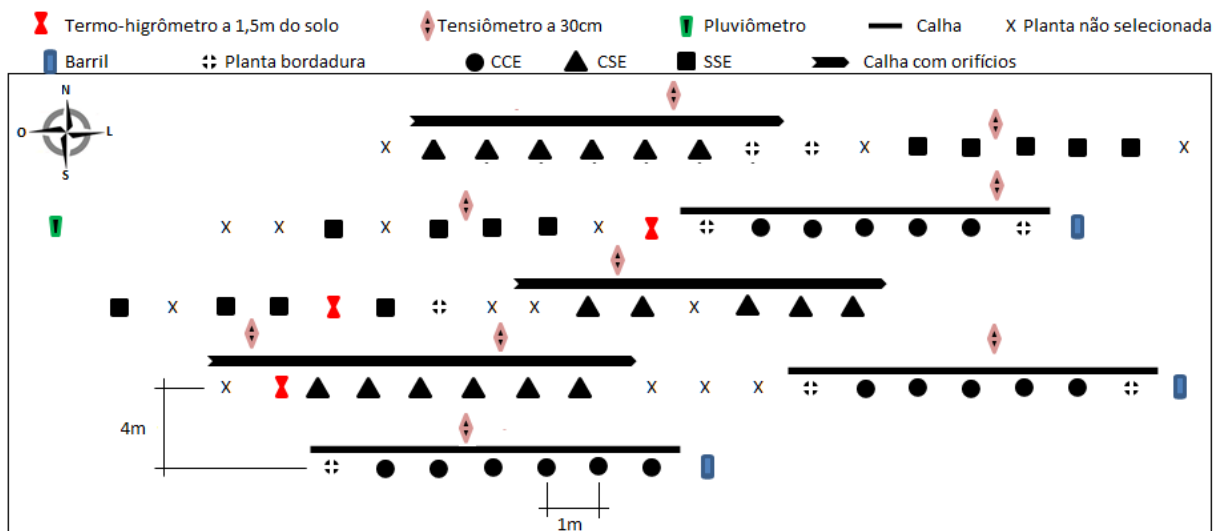
A fim de verificar as respostas fisiológicas de plantas de cafeeiro em relação à quantidade de chuva foi instalado, em março de 2015, um sistema de exclusão de chuva que exclui aproximadamente 25% da precipitação pluvial, utilizando seis postes de eucalipto de 3,20 m de altura, enterrados no solo a uma profundidade de 60cm. Foram fixados caibros de 5x7 cm com suportes metálicos devidamente instalados para suportarem duas calhas translúcidas de polipropileno suspensas sobre as linhas de cultivo com 0,4 m de largura por 6,0 m de comprimento, totalizando uma área de cobertura de exclusão de 4,80 m². Assim, três condições hídricas foram avaliadas:

- I. Com cobertura com exclusão (CCE) – plantas cobertas por calhas sem orifícios e toda água captada é destinada a um recipiente ligado diretamente a ela.
- II. Com cobertura sem exclusão (CSE) – em que as plantas são cobertas por calhas que possuem orifícios, porém tem-se a ausência de coletor.

- III. Sem cobertura sem exclusão (SSE) – onde todo o volume de água atinge diretamente as plantas e nenhuma estrutura tenta captar parte dele. Tratamento controle.

O período total de condução do experimento foi de dezembro de 2015 à janeiro de 2017. As análises de anatomia foram realizadas de dezembro de 2015 à julho de 2016, enquanto as demais foram de janeiro de 2016 à janeiro de 2017.

FIGURA 1. Croqui da vista aérea do cafezal da área experimental localizada na Universidade Federal de Lavras, MG.



3.2. Condições ambientais

Durante todo o período experimental monitorou-se a cada 30 minutos a temperatura (T °C) e umidade relativa do ar (UR %) do ambiente, com o auxílio de três termo-higrômetro Extech Instruments modelo RHT34 instalados em cada um dos três diferentes tratamentos a 1,5 m de altura do solo.

As medições de potencial matricial do solo (Ψ_m - MPa) foram realizadas semanalmente, utilizando-se tensímetro digital SondaTerra[®] de 50 cm instalados à profundidade de 30 cm, totalizando nove tensiômetros dispostos entre os três tratamentos.

3.3. Relações hídricas

A determinação do teor relativo de água (TRA - %) foi feita seguindo a metodologia proposta por Silveira et al. (2009). Realizou-se coletas quinzenais de uma folha por planta, totalmente expandida e posicionadas no terceiro nó do terço médio variando entres as faces sul e norte. Após a coleta estas foram imediatamente colocadas em sacos de papel alumínio e armazenadas em caixa de isopor com gelo.

Das folhas foram retirados 6 fragmentos circulares de 1,5 cm de diâmetro que foram pesados em balança analítica para a obtenção do Peso da Massa Fresca (PMF). Em seguida, os fragmentos foliares foram colocados em placa de Petri contendo papel filtro saturado com 20 ml de água destilada e levados para refrigeração durante 48 horas. Após esse período foi retirado o excesso de água dos discos e pesados novamente, obtendo-se assim o Peso da Massa Túrgida (PMT). Por fim, os discos foram colocados em sacos de papel e levados à estufa de circulação forçada de ar a 65° C por 72 horas, obtendo-se o Peso da Massa Seca (PMS). O TRA foi calculado através da seguinte fórmula (EQUAÇÃO 1):

$$\text{TRA (\%)} = \frac{\text{PMF} - \text{PMS}}{\text{PMT} - \text{PMS}} \times 100 \quad (1)$$

3.4. Área Foliar Específica (AFE)

A área foliar específica (AFE - cm².g⁻¹) foi calculado através da razão entre a área dos discos foliares e seu PMS, (EQUAÇÃO 2).

$$\text{AFE} = \frac{\pi R^2 \times 6}{\text{PMS}} \quad (2)$$

3.5. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

A quantificação do índice de vegetação por diferença normalizada foi feita mensalmente com o auxílio do GreenSeeker[®] *Handheld Crop Sensor*. As medições foram

realizadas em dias claros e pela manhã, através de um disparo único feito em frente a planta, na altura correspondente ao terço médio. Esse índice varia teoricamente de 0 (referente à vegetação sem folha) a 1,0 (relativo à vegetação com folhas).

3.6. Índice de área foliar (IAF)

O índice de área foliar (IAF - m^2/m^2) foi determinado mensalmente segundo metodologia proposta por Barbosa (2012), com auxílio de trena e cano de PVC graduado. A avaliação consistia na determinação da altura do ramo ortotrópico de 18 plantas em cinco posições distintas na planta, sendo obtidos valores de altura desde o nível do solo (H_1) e assim por diante até o topo (H_5) e medidas do comprimento total dos ramos plagiotrópicos e do início do ramo ortotrópico até o primeiro par de folhas de H_1 a H_5 , de forma a se estimar o volume de folhas e de ramos plagiotrópicos no dossel. Esses valores foram utilizados para alimentar os modelos de determinação do IAF de acordo com o formalismo proposto pelos autores.

3.7. Anatomia foliar

Para as análises de anatomia foliar foram realizadas quatro coletas ao longo do período experimental, cada uma representando uma estação do ano. De cada indivíduo foram coletadas cinco folhas completamente expandidas e livre de injúrias, do terceiro nó do terço médio das plantas, de ramos plagiotrópicos e fixadas em solução de formaldeído, ácido acético e etanol 70% (F.A.A.70%) por 72 horas, após esse período, conservadas em etanol 70%.

Foram obtidas secções paradérmica e transversal das folhas com o uso de lâminas de aço. Para as secções paradérmicas foi utilizada a face abaxial da folha, enquanto para os transversais utilizou-se fragmentos de aproximadamente 2 cm da região mediana contendo a nervura. As secções foram clarificadas com hipoclorito de sódio 50%, lavadas em água destilada por três vezes e coradas em solução de safranina 1% (secções paradérmicas) e em solução safrablau (safranina 1% e azul de astra 0,1% na proporção 7:3) (secções transversais). Após lavadas novamente para retirar o excesso de corante foram confeccionadas as lâminas. De cada folha coletada foi confeccionada uma lâmina, sendo fotografadas em microscópio

Zeiss Scope AX 10 acoplado à câmera digital Canon Powershot G10 entre três e cinco secções foliares (BUKATSH 1972; BURGER E RICHTER, 1991; JOHANSEN, 1940)

As fotomicrografias foram analisadas em software para análise de imagens UTHSCSA - Imagetool medindo-se: EAB (μm) = espessura de epiderme na face abaxial; EAD (μm) = espessura da epiderme na face adaxial; MF (μm) = espessura do mesofilo; CT (μm) = espessura da cutícula; PP (μm) = espessura do parênquima paliçádico; PE (μm) = espessura do parênquima esponjoso; PP/PE = proporção entre parênquima paliçádico e esponjoso; IE = índice estomático; POL = diâmetro polar dos estômatos; EQU = diâmetro equatorial dos estômatos. DE = densidade estomática (NE/mm^2); AN (μm^2) = área da nervura; AFV (μm^2) = área do feixe vascular; AX (μm^2) = área do xilema. A área do floema (AF) foi obtida subtraindo AX de AFV.

3.9. Delineamento experimental e análise de dados

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, composto de três condições hídricas, previamente descritas, com 2 repetições por bloco. A partir dos valores determinados durante o período experimental foram calculadas médias por épocas do ano. Para as variáveis TRA, potencial hídrico do solo, AFE, NDVI e IAF foram consideradas seis repetições por tratamento e as épocas Verão 2015-16, Outono 2016, Inverno 2016, Primavera 2016 e Verão 2016-17. Os valores foram testados quanto à sua normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, sendo os dados paramétricos avaliados pelo teste-t ($p < 0,05$) e os não-paramétricos pelo teste de Mann-Whitney ($p < 0,05$). Já para as análises de anatomia foliar foram utilizadas cinco repetições por tratamento, sendo os dados analisados por ANOVA com duas fontes de variação, na qual se considerou três condições hídricas (CCE, CSE e SSE) e quatro épocas do ano (Primavera 2015, Verão 2015-16, Outono 2016 e Inverno 2016) e as médias foram comparados pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas com auxílio do programa estatístico SigmaPlot 11.0.

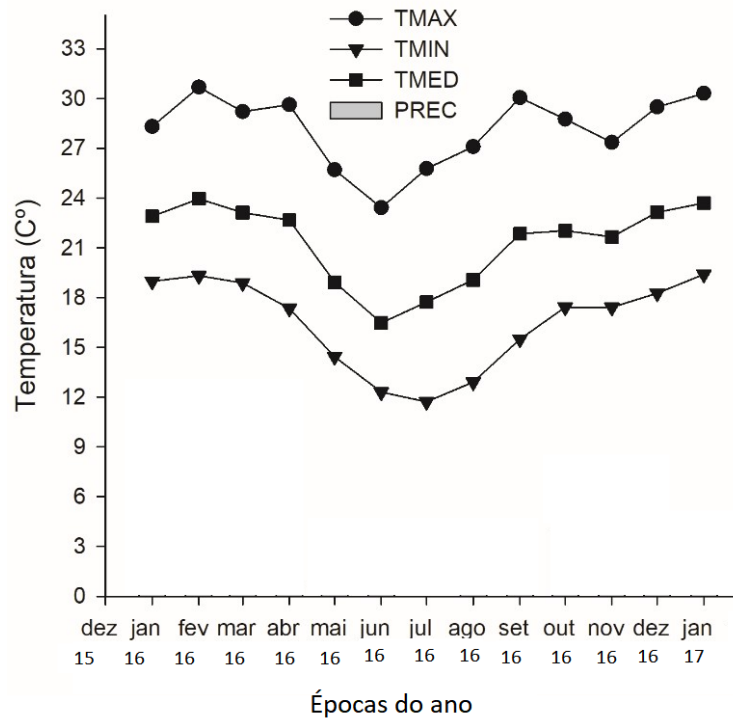
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados ambientais

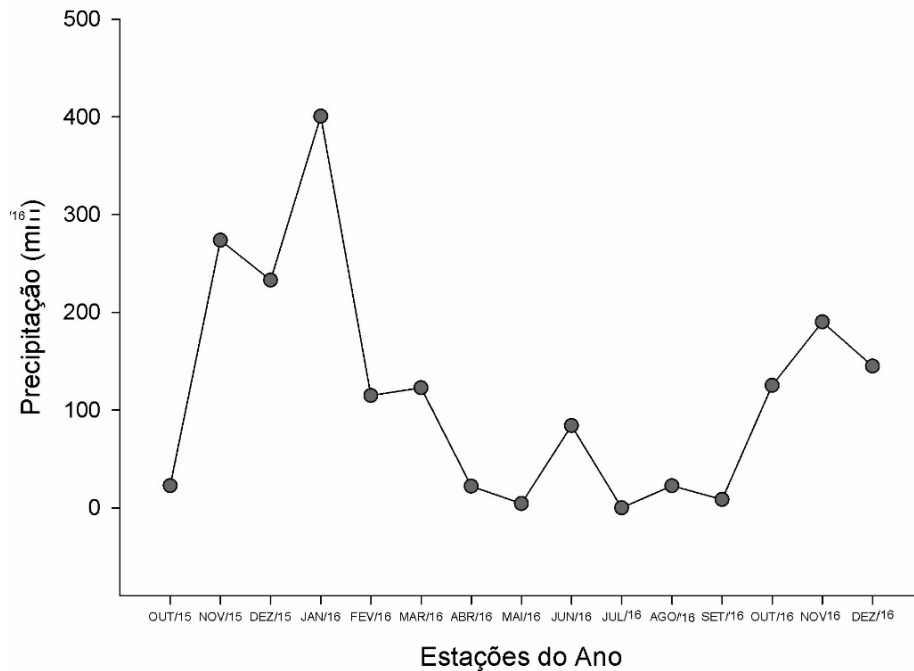
4.1.1 Temperatura e precipitação

Na figura 2-A, pode-se observar a variação de temperatura durante o período de estudo. A temperatura máxima mensal (T_{máx}) variou de 23,4°C a 30,6°C. Dos 12 meses avaliados, 3 deles apresentaram temperatura máxima mensal superior ou igual a 30°C. A temperatura média mensal (T_{med}) variou entre 16,5°C e 24,0°C. Já, para a temperatura mínima mensal (T_{mín}), variou entre 11,7°C e 19,4°C. Os maiores índices de precipitação foram registrados no final de 2015 e janeiro de 2016 (FIGURA 2-B)

FIGURA 2. Total mensal da Temperatura (A) e Precipitação (B) nos meses de condução do experimento.



A



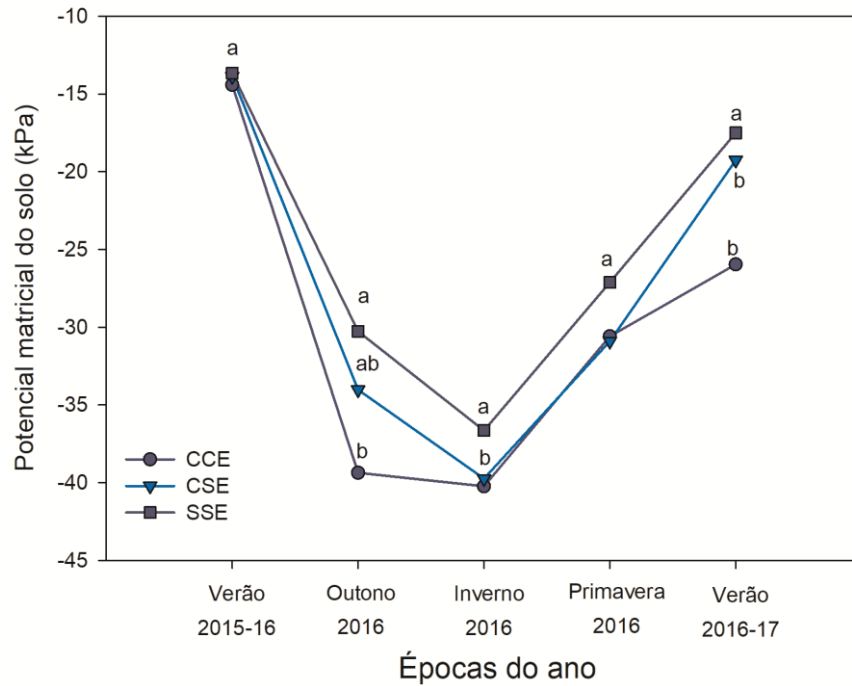
B

4.1.2 Potencial do Solo

Os valores do potencial matricial do solo foram mais elevados, durante as estações Verão 2015 – 16 e Verão 2016 – 17 (FIGURA 3). Entretanto, houve uma redução de modo que, os menores valores foram registrados para as estações Outono e Inverno 2016. Esse fato provavelmente está relacionado com a menor precipitação registrada nessa época do ano (FIGURA 2).

No verão 2015 – 16 e na primavera 2016 não houve diferenças estatísticas entre os tratamentos. Já no outono, o tratamento com exclusão de chuva (CCE) apresentou valores mais negativos com média -39,3 kPa, sendo este diferente dos demais tratamentos. No inverno, os menores valores de -40,2 e -39,7 kPa foram observados em CCE e CSE, respectivamente (FIGURA 3).

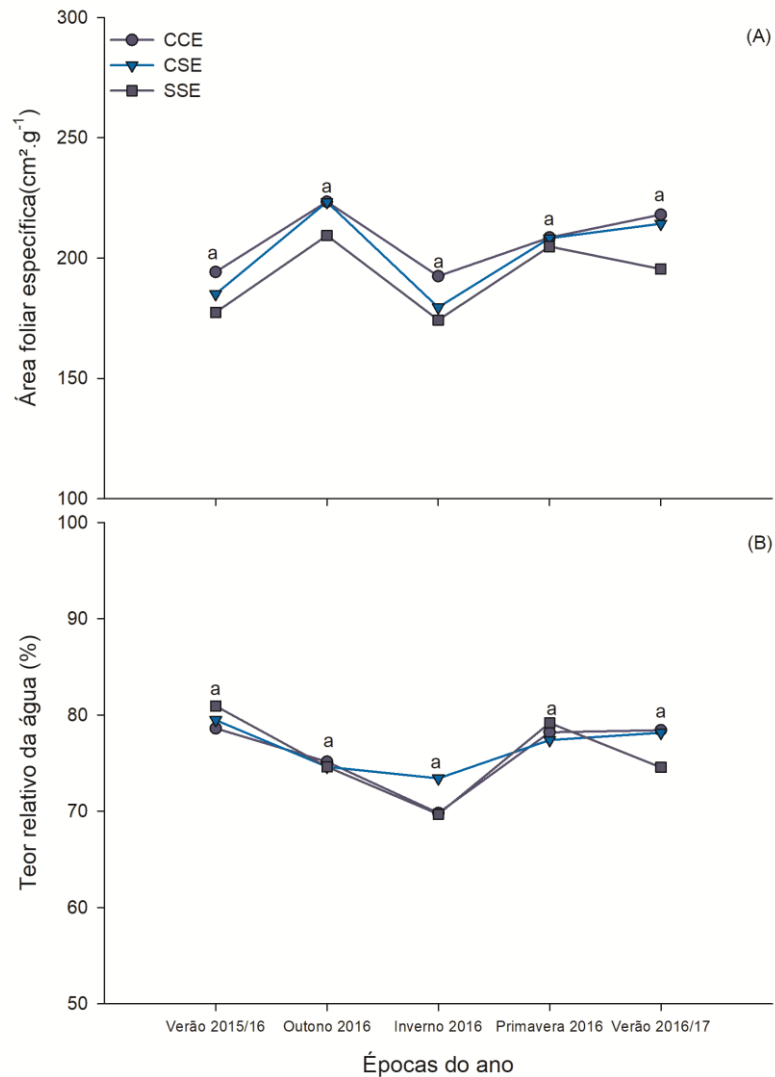
FIGURA 3. Potencial mátrico do solo no período de dezembro de 2016 a janeiro de 2007 nas linhas dos cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



4.2. Área foliar específica e Teor relativo de água

Nas avaliações referentes ao teor relativo de água e área foliar específica não foram observadas diferenças entre os tratamentos, dentro de cada época do ano avaliada (FIGURA 5). Modificações na AFE e no TRA não foram observadas mesmo nas estações Outono - 2016, Inverno - 2016 e Verão 2016 - 17, onde os tratamentos CCE e CSE apresentaram valores de potencial mátrico do solo menores que os observados no SSE (FIGURA 4). Neste contexto, os cafeeiros não modificaram essas características à nível de folha, mesmo sob condições de exclusão a que foi exposto.

Figura 4. Área foliar específica ($\text{m}^2 \cdot \text{Kg}^{-1}$) (A) e teor relativo de água (TRA) (B) em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. As barras são referentes ao desvio padrão ($n= 17$).



Sob condições de déficit hídrico sabe-se que uma das respostas esperadas seria a redução da área foliar específica (MELKE; FETENE, 2014). Em um experimento feito com cafeeiro arábica cultivado em pote por 120 dias em regimes de irrigação diferentes, foi observado que plantas irrigadas duas vezes na semana produziram menor quantidade de folhas, sendo que estas apresentaram menor área foliar e altas taxas de senescência quando comparadas às plantas irrigadas duas vezes ao dia (MEINZER et al., 1992). Isto sugere um modo de ajuste à redução da disponibilidade de água do solo, pelo menos em estágios iniciais (MEINZER et al., 1992). Resultados semelhantes também foram relatados para café robusta cultivado em campo (DAMATTA et al., 2000, 2003). Entretanto nas condições avaliadas isto não foi observado (FIGURA 5A).

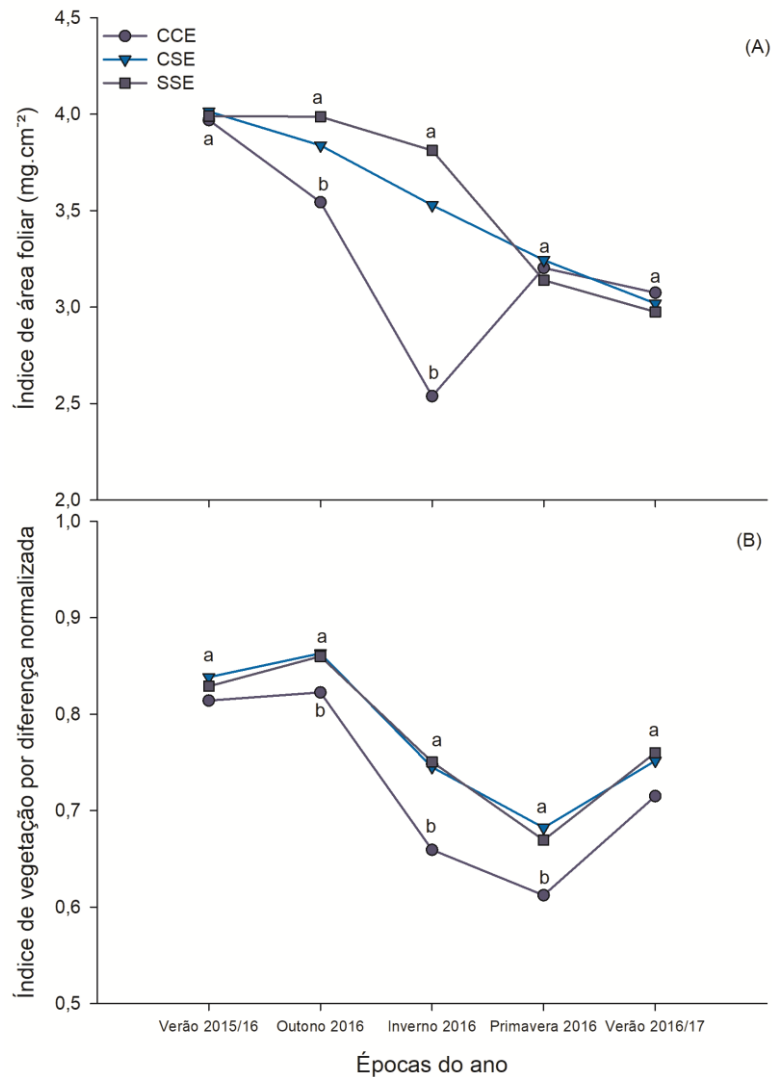
Em relação ao TRA os resultados observados concordam com o que já foi descrito na literatura. Sabe-se que cafeeiros tendem a manter elevados valores dessa variável mesmo sob condições de déficit hídrico (DAMATTA, 2003). Diferentemente dos resultados desse trabalho, Carmazini et al. (2015) encontraram diferença de TRA em plantas de *C. arabica* submetidas à exclusão parcial de água da chuva. Fato este também observado em Lopes (2005) em seu trabalho, onde relacionou o teor relativo de água das plantas de café com as lâminas de irrigação aplicadas, verificou que a medida que aumentava a quantidade de água para planta aumentava o TRA.

4.3. NDVI e IAF

Das análises da série temporal de 2016 a 2017 dos valores por estação do NDVI, não foram observadas diferenças entre os tratamentos nas estações Verão 2015-16 e Verão 2016-17 (FIGURA 5A). Entretanto, o tratamento CCE (com exclusão de chuva) apresentou menores valores médios de 0,82, 0,66 e 0,61 para Outono 2016, Inverno 2016 e Primavera 2016, respectivamente (FIGURA 6A). Segundo Cristiano et al., (2014), os valores do NDVI na maioria dos ecossistemas tendem a diminuir durante a estação de temperaturas mais baixas, sugerindo uma redução na fotossíntese da copa, devido à menor atividade de enzimas fotossintéticas das folhas. Assim, as menores médias das estações Outono 2016 e Inverno 2016 coincidem com o período da desfolha causada pela seca no inverno, queda de temperatura (FIGURA 2) e colheita. Já os baixos valores observados na primavera podem estar relacionados com precipitação (FIGURA 2) e a retomada do crescimento das plantas (ALVES, 2015). Com o início da florada seguida pela granação e maturação dos frutos, os cafeeiros apresentam aumento de biomassa, refletindo no acréscimo dos índices de vegetação (primavera 2016), mostrando a sensibilidade dos índices a essa variação.

Relacionando o índice de vegetação NDVI com o regime de chuvas durante o período de estudo. Com o início das chuvas (Verão 2015-16) pode ser observado o acréscimo/ do NDVI, relatando o início da florada (primavera), assim como observado no trabalho Delgado et al. (2012).

Figura 5. Índice de área foliar (IAF) (A) e índice de vegetação normalizada (NDVI) (B) em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



Para IAF, observou resposta similar ao registrado para NDVI, não havendo diferenças significativas para as estações as estações Verão 2015-16 e Verão 2016-17 (Figura 5B). Os menores valores de IAF, na comparação entre as diferentes condições dos tratamentos, foram observados para o tratamento CCE no Outono 2016, com valor de $3,54 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$ e no Inverno 2016 com valor de $2,53 \text{ m}^2.\text{m}^{-2}$. Em ambas as estações, o tratamento CCE apresentou menores valores de potencial mátrico do solo (FIGURA 3). Além disso, pode-se notar uma tendência de redução nos valores de temperatura (FIGURA 2). Na medida em que a temperatura voltou a aumentar e não foram mais observadas diferenças entre os valores de potencial mátrico para os três tratamentos, os valores de IAF não foram estatisticamente na Primavera 2016. De acordo com Barbosa (2012) a variação nos valores de IAF ocorre em função da dinâmica foliar de copa, havendo diminuição dessa variável com a perda de folhas e aumento em decorrência do surgimento de folhas novas e maiores taxas de crescimento vegetativo. Cristiano et al. (2014),

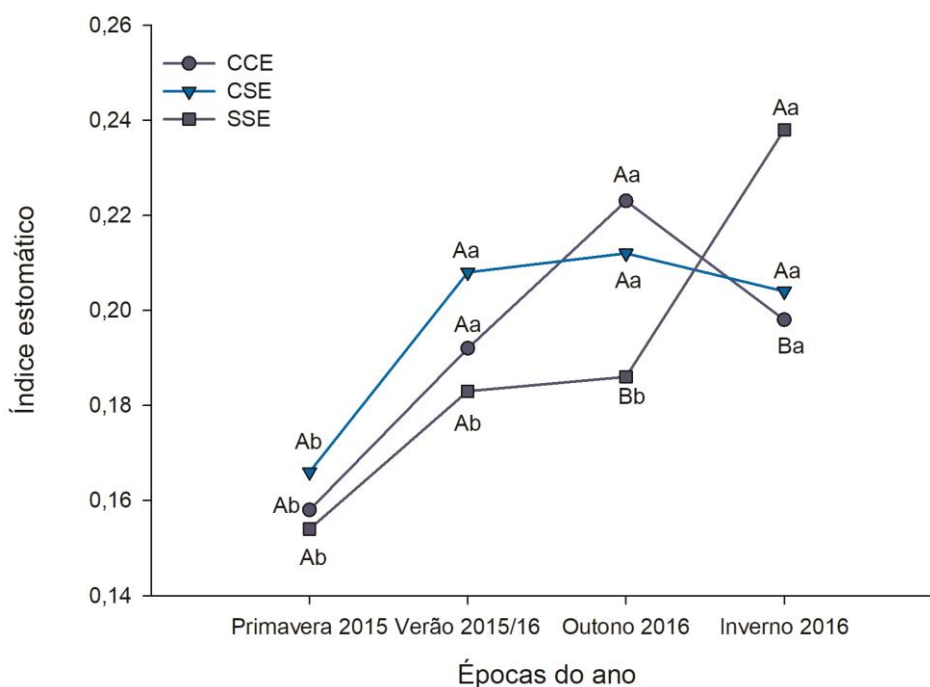
e Mendes et al. (2007) também observaram diminuição nos valores de IAF com a redução da temperatura. Essa redução do número de folhas está fortemente correlacionada neste trabalho com os valores de NDVI observados no outono e inverno de 2016, quando atingiram suas menores médias.

4.4. Características anatômicas

Em relação às características anatômicas, para densidade estomática (DE) (ANEXO B – FIGURA A) não foram observadas diferenças na interação entre os tratamentos, mas para as estações do ano houve uma diferença (ANEXO A - TABELA 1) sendo que o maior valor médio observado é de 212 mm², na estação Inverno 2016. (BATISTA et al., 2010), avaliando 15 cultivares de *C. arabica* quanto ao status hídrico e às características da estrutura interna das folhas, encontrou menores densidades estomáticas entre algumas cultivares estudadas em campo sob restrição hídrica, dentre elas a Mundo Novo.

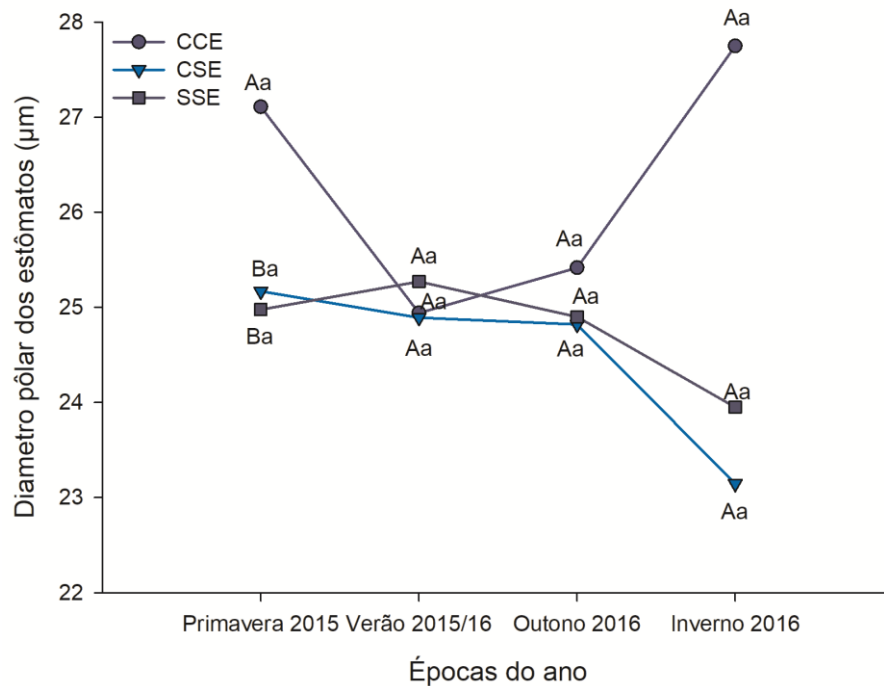
Para o índice estomático, que envolve a relação entre o número de estômatos e de células num mesmo campo, não houve diferença entre os tratamentos hídricos mas houve diferença em relação às estações do ano onde a primavera apresentou o menor índice estomático de 0,159 mm². Observa-se uma diferença entre a interação dos dois fatores, o tratamento sem exclusão de chuva no inverno apresentou o maior índice estomático de 0,238 mm². Um maior índice estomático indica que houve aumento, em porcentagem, do número de estômatos em relação ao total de células epidérmicas (POLTRONIER, 2011). Este fato evidencia um investimento das plantas na produção de estômatos para otimizar o aproveitamento da área da epiderme (PEREIRA, 2008). RIBEIRO et al., (2012) afirmaram que o índice estomático pode variar diferentemente da densidade estomática, sendo que genótipos com estômatos menores e baixa densidade estomática podem apresentar índices estomáticos relativamente altos devido ao maior tamanho das células epidérmicas regulares.

Figura 6. Índice estomático em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



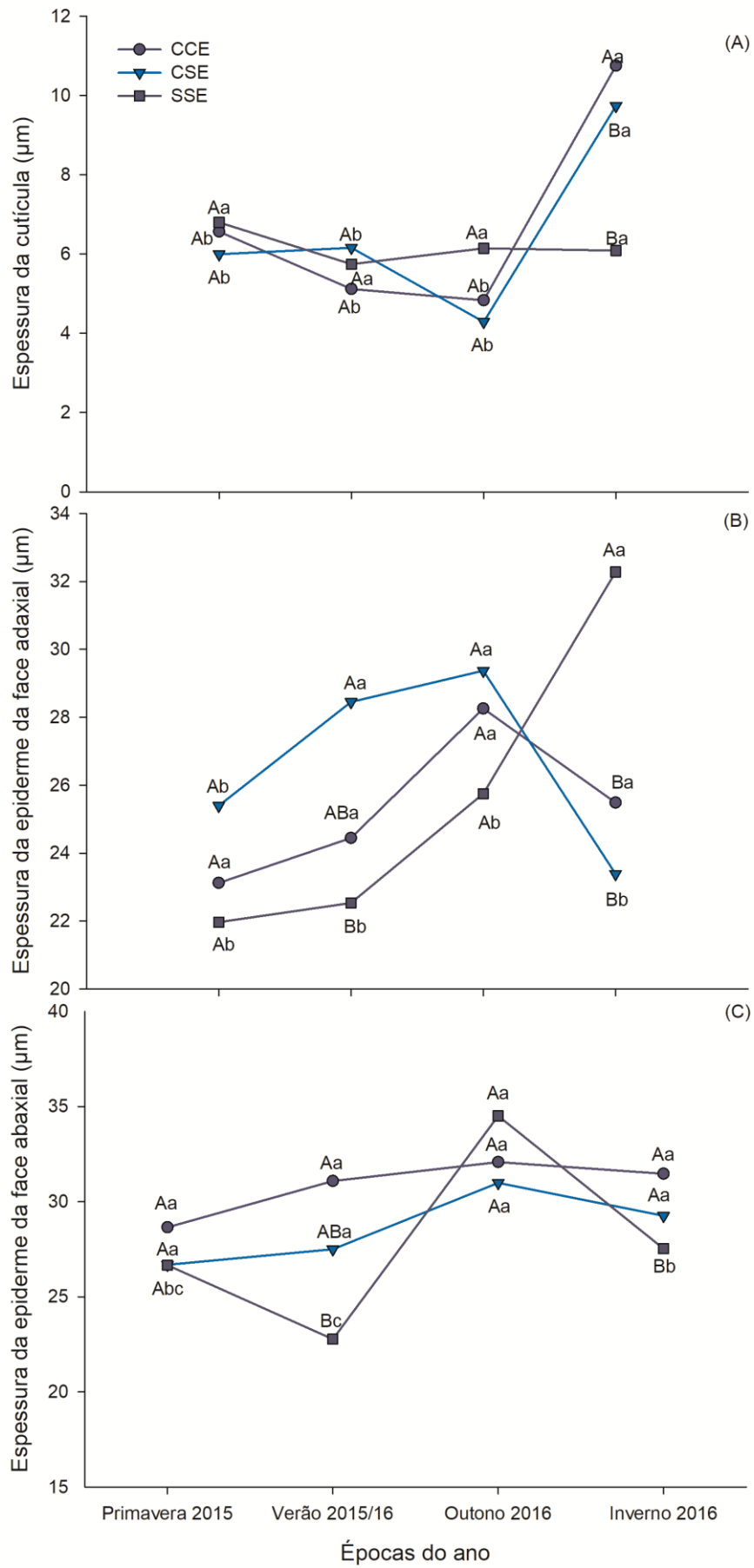
O diâmetro polar dos estômatos está diretamente relacionada com o tamanho dessas estruturas (CASTRO et al., 2009) que por sua vez está relacionado à respostas ao déficit hídrico (BATISTA et al., 2010; GRISI et al., 2008). Pode observar nos resultados que entre as estações do ano não houve diferença, mas houve diferença entre os tratamentos e também na interação entre os dois fatores, onde o tratamento com cobertura e exclusão de chuva na primavera apresentou maior média de aproximadamente 27.0 μ m. Segundo GRISI et al, (2008) as modificações são em busca de uma maior funcionalidade dos estômatos, que adquiriram um formato elipsóide, na condição de restrição hídrica. Visto que era um sistema com cobertura e exclusão de chuva e em uma estação do ano onde não ocorreram muitas chuvas, como pode ser observado no gráfico de precipitação (FIGURA 2).

Figura 7. Diâmetro polar dos estômatos em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



O cafeeiro apresenta folhas com características hipoestomáticas, ou seja, apresentam estômatos apenas na face abaxial da epiderme (OLIVEIRA, 2013). A presença dos estômatos dispostos desta maneira, são típicos de plantas de regiões de climas áridos e semiáridos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Esta característica pode ter contribuído para a adaptação da espécie cafeeira a esses ambientes tornando-a uma cultura um pouco mais tolerante às condições de déficit hídrico fato este pode ser uma justificativa para a não diferenças entre os tratamentos. O número de estômatos pode variar até entre folhas da mesma espécie, crescendo em diferentes condições ambientais (BOSABALIDIS; KOFIDIS, 2002). Particularmente nas plantas conhecidas como C3 (a grande maioria das espécies vegetais), o grau de abertura estomática é elevado, de modo que a captação de CO_2 para o processo fotossintético é acompanhada por grande perda de água (TAIZ; ZEIGER 2004).

Figura 8. Cutícula (A), Epiderme da face adaxial (B) e da Epiderme da face abaxial (C) em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



Características relacionadas aos estômatos são importantes na regulação das trocas gasosas, uma vez que folhas com estômatos menores podem apresentar maior eficiência no uso da água por apresentarem um menor tamanho dos poros estomáticos, condicionando, assim, uma menor perda de água por transpiração (ABRAMS et al., 1994). Apesar da transpiração cuticular representar somente cerca de 5%, da perda de água da folha, a cutícula que cobre a superfície exposta da planta serve como uma barreira efetiva para evitar a perda de água e, assim, protege a planta da dessecação (CHAMEL et al., 1991). Dessa forma, de acordo com Castro; Pereira; Paiva (2009) as mudanças espessamento da cutícula permite às plantas uma maior tolerância a escassez de água, enquanto um menor espessamento da cutícula indica baixa adaptabilidade a essas condições.

Em relação à espessura da epiderme na face adaxial (ANEXO A – TABELA 2) não foram observadas diferenças entre as condições hídricas, nem entre as estações, sendo verificadas diferenças somente na interação (condição hídrica \times estação). Na comparação para o tratamento SSE entre as estações do ano pode-se observar que o Inverno 2016 apresentou o maior valor de 32,0 μ m, enquanto na Primavera 2015 observou-se o menor valor de 22 μ m (FIGURA 8B). Já na comparação dentro de cada estação, pode notar que no Inverno 2016 os tratamentos hídricos CCE e CSE apresentaram os menores valores de 25,5 e 23,0 μ m, respectivamente.

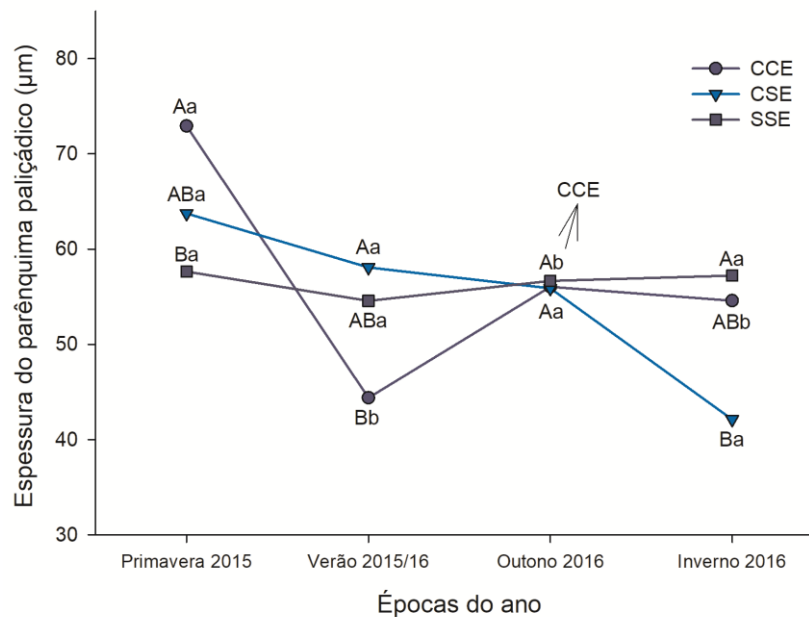
A espessura da epiderme na face abaxial (ANEXO A– TABELA 2) não apresentou diferença entre as diferentes condições hídricas. As estações primavera e verão apresentaram médias estatisticamente iguais de, 27,3 e 27,1 μ m e estas foram diferentes das estações outono e inverno com maiores médias de, 32,5 e 29,4 μ m (FIGURA 8C). Na interação entre os dois fatores, para o Verão, o tratamento SSE foi o que apresentou menor média de 22,7 μ m. Já no inverno, nas condições hídricas CCE e CSE foram observados os maiores valores de 31,5 e 29,2 μ m, respectivamente.

Grisi (2008) não encontrou diferenças na espessura nas epidermes (face abaxial e face adaxial) em seu trabalho entre os tratamentos irrigados e não irrigados. Em Batista (2010) na face adaxial alguns cultivares apresentou modificações, entre eles o cultivar Mundo Novo. Já para a epiderme na face abaxial, nenhum dos cultivares se modificou.

Com relação ao parênquima paliçádico (PP) (ANEXO B – FIGURA 2) não se observou diferenças entre os tratamentos hídricos. Mas em relação às estações do ano houve

diferença, sendo que a primavera apresentou maior média de 64,7 μm (Figura 9). Na interação entre os fatores, houve diferenças significativas para o tratamento com exclusão (CCE), sendo o maior valor de 56,0 μm registrado para o Outono 2016 e o menor valor de 44,4 μm para o Verão 2016. E nos tratamentos hídricos, SSE diferente na primavera, seguido por CSE e CCE é diferente dos demais no verão. O aumento na espessura do parênquima paliçádico pode ser considerado uma resposta adaptativa favorável, pois é um tecido onde ocorre a maior taxa fotossintética, rico em cloroplastídeos (CASTRO; PEREIRA; PAIVA, 2009). Esse aumento da espessura pode ter uma função de fotoproteção. Pois dependendo do tipo de ambiente que a planta esteja o aumento da espessura do parênquima pode ocorrer e a taxa fotossintética pode ser reduzida.

Figura 9. Parênquima paliçádico em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



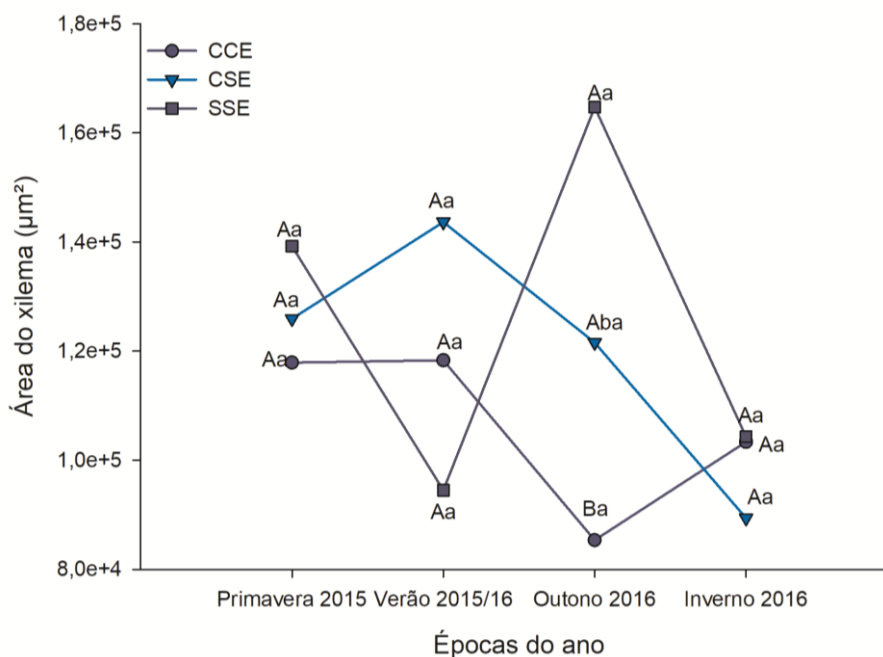
O aumento na espessura do PP neste trabalho não foi acompanhado de um aumento da espessura total do limbo, expressando que não houve diferenças significativas na espessura do parênquima esponjoso. Essa variação a espessura do parênquima paliçádico também foi observada por Grisi (2008), com a diminuição na espessura na Catuaí não irrigada.

Para parênquima esponjoso (PE) (ANEXO A– TABELA 2), mesofilo (MF) (ANEXO A – TABELA 3) e espessura total do limbo (ET) (ANEXO A – TABELA 3), não houve diferença significativa (ANEXO B– FIGURA 2), assim como nos trabalhos de Queiroz-Voltan (2014), onde foram analisadas diferentes cultivares de café, e o Mundo novo não variou a espessura do limbo durante a seca. Em um trabalho onde foram avaliadas diferença de radiação realizados com cultivares de *C. arabica*, inclusive com a cultivar Mundo Novo, por Voltan et al. (1992) e Fahl (1994), verificaram que em plantas cultivadas em diferentes porcentagens de luz solar houve uma redução de até 13%, na espessura total do limbo foliar. Fato este também observado por Nascimento et al. (2006) em seu trabalho. O que difere dos resultados encontrados neste trabalho.

Em PP/PE não houve diferença entre os tratamentos hídricos e nem para a interação dos fatores (tratamento \times estação) (FIGURA 10). Mas ocorreu diferença entre as estações; a primavera apresentou um maior valor da relação PP/PE, média de $0,33\mu\text{m}$. Segundo Castro; Pereira; Paiva (2009) essa maior espessura do parênquima esponjoso pode favorecer o acúmulo de gases nas trocas gasosas. Essas pequenas variações na espessura da folha podem segundo Yamashita et al. (2002), resultar em modificações na fotossíntese em algumas espécies.

Para análise do sistema vascular, a área do xilema não apresentou diferença entre as estações e tratamentos. Observou-se diferença apenas na interação entre as duas fontes de variação. O tratamento de exclusão (CCE) no outono apresentou uma menor média de área para o xilema, $85357,0\mu\text{m}^2$ (FIGURA 10). O espessamento desses feixes vasculares, no caso do xilema possibilita um maior fluxo de água e sais minerais na época seca, conferindo a essas plantas, características adaptativas favoráveis em condições de restrição hídrica (QUEIROZ-VOLTAN, 2014). Guimarães et al. (2011) relataram a importância do espessamento dos vasos do xilema quanto à tolerância à deficiência hídrica no sistema radicular de cultivares de arroz de terras altas, onde ele oferece menor resistência ao fluxo de água. Portanto, o aumento no diâmetro dos vasos xilemáticos, poderia estar favorecendo a absorção de água na raiz, sendo assim, um dos possíveis motivos para um maior crescimento vegetativo do cafeeiro encontrado por Pieve (2012).

Figura 10. Área do xilema em cafeeiros submetidos a diferentes condições hídricas CCE (●), CSE (▲) e SSE (■) avaliadas em diferentes épocas do ano. Letras iguais não apresentam diferenças estatísticas pelo teste t ou de Mann-Whitney ($p < 0,05$).



Para área do floema (ANEXO B – FIGURA 2) não houve diferenças entre os tratamentos hídricos e as interações entre os fatores, somente diferenças entre as estações do ano. No inverno se diferiu das demais estações com a menor média, $67092,3\mu\text{m}^2$, seguido pela primavera, $75167,4\mu\text{m}^2$. O espessamento dos feixes vasculares possibilita um maior fluxo de seiva elaborada e de água e sais minerais na época seca, conferindo às plantas, características adaptativas favoráveis em condições de restrição hídrica. Segundo Carlquist (1977), quanto maior a frequência de vasos e menor o seu diâmetro, menor a chance de haver embolia de ar devido ao estresse hídrico, prejudicando seriamente a condução da água e sais minerais na planta. Esse maior espessamento de vasos foi observado no trabalho de Queiroz-Voltan et al., (2014) para algumas cultivares no período seco, incluindo a Mundo Novo.

Para a área da nervura e área do feixe vascular (ANEXO B – FIGURA 2), não foram observadas diferenças estatísticas (ANEXO - TABELA 4). Diferentemente do trabalho de Queiroz-Voltan et al., (2014), onde a cultivar Mundo Novo apresentou na nervura foliar aumento dos feixes vasculares no período seco, quando há menor disponibilidade hídrica.

Diferentemente do que foi observado nos resultados do experimento o aumento da nervura central pode ser relacionado com um maior fluxo de fotossintatos e água na planta. Assim, é possível a translocação de mais água necessária à manutenção da turgidez celular nas folhas, fato essencial para o correto metabolismo (BATISTA, 2010).

5. CONCLUSÃO

Diante das hipóteses formuladas pode-se inferir que o cafeeiro sob exclusão parcial de chuva desenvolveu algumas estratégias de adaptação. Foram observadas alterações de características foliares ao longo do tempo que seria o aumento da espessura do parênquima paliçádico, aumento da espessura da epiderme, em especial a da face abaxial, onde encontra-se os estômatos e por fim uma maior espessura da cutícula que diminui o ressecamento foliar, Com isto, as plantas estudadas têm um maior número de estômatos, estes por sua vez possuem uma maior diâmetro polar e uma cutícula mais espessas. Ao mesmo tempo houve alterações da copa (NDVI e IAF) que justificam o controle da transpiração em dois níveis hierárquicos para aperfeiçoar a eficiência de uso da água. A não diferença encontrada no TRA e AFE sugerem mudanças em outras partes da planta.

REFERÊNCIAS

ABRAMS, M. D.; KUBISKE, M. E.; MOSTOLLER, S. A. Relating wet and dry year ecophysiology to leaf structure in contrasting temperate tree species. **Ecology**. Washington. v. 75, n. 1, p. 123 - 133, 1994.

ALVES, J. D., REFLEXÕES SOBRE A PODA DO CAFÉ. **Revista Cafeicultura**. Jun. 2015

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas / energéticas com a atmosfera: introdução ao tratamento biofísico**. 272p. ESALQ, Piracicaba, 2002.

ASSAD, Eduardo Delgado et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. **Pesquisas Agropecuárias Brasileiras**. Brasília, v. 39, n. 11, p.1057-1064, 01 nov. 2004.

BAKER, N. R. Light-use efficiency and photoinhibition of photosynthesis in plants under environmental stress. IN: WATER DEFICIT PLANT RESPONSES FROM CELL TO COMMUNITY (J. A. C. Smith & H. Griffiths, eds.). **Bios Scientific Publ.** Oxford, p.221-235, 1993.

BALIZA, D. P. **Cafeeiros em formação e produção em diferentes níveis de radiação: características morfofisiológicas**. 2011. 97 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BALIZA, D. P. et al. Trocas gasosas e características estruturais adaptativas de cafeeiros cultivados em diferentes níveis de radiação. **Coffee Science**, Lavras, v. 7, n. 3, p. 250-258, set/dez, 2012.

BARROS, R. S. et al. Determinação de área de folhas do café (*Coffea arabica* L. cv 'Bourbon Amarelo'). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 20, n. 107, p. 44-52, jan./mar. 1973.

BARRETO, C.V.G. et al. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, v.65, p.641-647, 2006.

BATISTA, L. A. et al. Anatomia foliar e potencial hídrico na tolerância de cultivares de café ao estresse hídrico. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 3, p. 475-481, jul./set. 2010.

BARBOSA, J.P.R.A.D et al. Estimativa do IAF de cafeeiro a partir do volume de folhas e arquitetura da planta. **Coffee Science**, v. 7, p. 267-274, 2012b.

BENETTI, R. et al. Variação na anatomia foliar de cafeeiros. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v. 4, n. 2, p. 99–105, 1992.

BOSABALIDIS, A. M.; KOFIDIS, G. Comparative effects of drought stress on leaf anatomy of two olive cultivars. **Plant Science**, Clare, v. 163, n. 2, p. 375-379, 2002.

BRAGANÇA, S.M. **Crescimento e acúmulo de nutrientes pelo cafeeiro conilon (Coffea canephora Pierre)**. 2005. 99p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

BRANDÃO, R. P. **Café com qualidade – Uma opção do cafeicultor**. 2015. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/cafe-com-qualidade-uma-opcao-do-cafeicultor/>>. Acesso em: 17 de julho. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas (1961- 1990)**. Brasília, 1992.

BRODRIBB T.J., Feild T.S.; Jordan G.J. Leaf maximum photosynthetic rate and venation are linked by hydraulics. **Plant Physiology**, v. 144, p. 1890–1898, 2007.

BUENO, C. **MUDANÇAS CLIMÁTICAS NO BRASIL**. São Paulo: Universo, n. 61, dez. 2014.

BUNN, C.; LÄDERACH, P; RIVERA, O. O.; KIRSCHKE, D. A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. **Climatic Change**, v. 129(1-2), p. 89-101, 2015.

CAMARGO, M. B. P. de. The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 1, 2010.

CAMARGO, A.P. DE; CAMARGO, M.B.P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n.01, p.65-68, 2001.

CARMAZINI, V. C. P et al. Restrição hídrica em plantas do genótipo BA-10 de *Coffea arabica* L. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, IX, Curitiba – PR, 24 a 26 de jun 2015,

CARLQUIST, S. Ecological factors in wood evolution: a floristic approach. **American Journal of Botany**, Saint Louis, v. 64, p. 887- 896, 1977.

CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 31, n. 6, p. 1862- 1866, nov./dez. 2007.

CARVALHO, H. P. et al. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 27, n. 2, p. 221-229, 2011.

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

CHAMEL, A.; Pineri, M.; Escourbes, M. Quantitative determination of water sorption by plant cuticles. **Plant Cell**, Environ. v.14, p. 87- 95, 1991.

CLARK, G.A.; Reddell, D. L. Construction details and microclimate modifications of a permanent rain-sheltered lysimeter system. **Trans Am Soc Agricult Eng**, v. 33, p. 1813–22, 1990.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB <
<<http://www.consorciopesquisacafe.com.br/index.php/imprensa/noticias/799-2017-06-01-12-02-48>> Acesso em: 12 jul. 2017.

CRISTIANO, Piedad et al. High NDVI and Potential Canopy Photosynthesis of South American Subtropical Forests despite Seasonal Changes in Leaf Area Index and Air Temperature. **Forests**. v.5, n. 2, p. 287-308, 20 fev. 2014.

DAMATTA, F.M. et al. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a result of nitrogen and water availability. **Journal of Plant Physiology**, v. 159, p. 975-981, 2002.

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

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

DAMATTA. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Plant Physiology**, p. 1-6, abr. 2004.

DAMATTA, F.M. et al. Eficiência do uso da água e tolerância à seca em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉ'S DO BRASIL, Poços de Caldas, MG: EMBRAPA, p. 907–910, 2000.

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

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras, MG**, v. 31, n. 6, p. 1862- 1866, nov./dez. 2007.

DAVIES, W.J.; WILKINSON, S.; LOVEYS, B. Stomata control by chemical signaling and the exploitation of this mechanism to increase water-use efficiency in agriculture. **Plant Physiology**, Rockville, v. 131, p. 230-235, 2002.

DELGADO, R.C. et al.. Influência da mudança da paisagem amazônica no aumento da precipitação em Cruzeiro do Sul, AC. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.14; p. 665-674, 2012.

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

DUGAS WA Jr, Upchurch DR Microclimate of a rainfall shelter. **Agron J**, v. 76, p; 867–71, 1984.

ECCARDI, F.; SANDALJ, V. O café: Ambientes e diversidade. Casa da **Palavra**, 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, EMBRAPA **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006.

FAHL, J. I. et al. Nitrogen and irradiance levels affecting net photosynthesis and growth of young coffee plants (*coffea arabica* L.). **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 69, p. 161-169, Jan. 1994.

FAY, P. A. et al. Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: design and performance of rainfall manipulations shelters. **Ecosystems**, v. 3, p; 308–319, 2000.

FIGUEIREDO, W. S. C. **EVAPOTRANSPIRAÇÃO E EFEITO DO DÉFICIT HÍDRICO NA FLORAÇÃO DO CAFEIEIRO ARÁBICA**. 2010. 108 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010.

FOALE, M.A.; Davis, R.; Upchurch, D.R. The design of rain shelters for field experimentation: a review. **J Agric Eng Res**, v.34, p. 1–16, 1986.

FRESSA, L. G. et al. O IMPACTO ECONÔMICO DA PRODUÇÃO DE CAFÉ NO BIÊNIO 2010|2011 NA REGIÃO DA ALTA MOGIANA. **UniFACEF**, Franca, v. 3, n. 1, jan. 2011.

GUIMARÃES, C. M. et al. Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 1, p.126-134, jan./mar. 2011.

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

GUO, J. et al. Ecophysiological responses of *Abies fabri* seedlings to drought stress and nitrogen supply. **Physiologia Plantarum**, Hoboken, v. 139, n. 4, p. 335-347, Aug. 2010.

HUDAK, C.M.; Patterson, R.P. Root distribution and soil moisture depletion pattern of a drought-resistant soybean plant introduction. **Agron J**, v. 88, p. 478–85, 1996.

HUNTER, J.R.; ERICKSON, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. **Agronomy Journal**, v. 44, n.3, p. 107-109, 1952.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, n. 2-3, p. 185-202, jun. 2005.

Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, Disponível em <http://www.bbc.com/portuguese/noticias/2014/03/140331_aquecimento_global_ipcc_cafe_b_rasil_lgb> Acesso em: 25 jul. /2016.

Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC. **Regional Aspects - Central and South American**. Geneva: IPCC, p. 102. 2013.

Jacoby, P.W.; Ansley, R.J.; Lawrence, B.K. Design of rain shelters for studying water relations of rangeland shrubs. **J Range Manage**, v. 41, p. 83–5, 1988.

KOBAYASHI, E. S. **Consumo de água e produtividade de cafeeiros arábica na região de Mococa, SP**. 2007. 77 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agronômico, Campinas, 2007.

LARCHER, W. **Okologie der Pflanzen**. German: UTB. 1984.

LI, D. et al. Effects of drought on soluble protein content and protective enzyme system in cotton leaves. **Frontiers of Agriculture: China**, v. 4, n. 1, p. 56-62, mar. 2010.

LEAL, J. T. C. P.; FERNANDES, M. R.; PEREIRA, R. T. G. **Boas práticas ambientais na cafeicultura**. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2012.

LEVITT, J. Responses of plants to environmental stress. **In: _____**. Water radiation salt and other stress. New York: Academic, v. 2, p; 339, 1980.

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

LOPES, J. L. W. et al. Efeitos da irrigação na sobrevivência, transpiração e no teor relativo de água na folha em mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes substratos. **Scientia Forestalis**, n. 68, p.97-106, ago. 2005.

LOPES, S.J. et al. Espaçamento entre plantas de sorgo granífero: produtividade de grãos e qualificação do modelo estatístico. **Ciência Rural**, v.39, n.3, p.649-656, 2009.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2016. <Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/cafe/saiba-mais>> Acesso em 25 jul. 2017.

MARCHI, G.; MARCHI, E. C. S.; GUIMARÃES, T. G. **Herbicidas: mecanismo de ação e uso**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2008

MARTIN, E. C. Et al. A large-area, lightweight rainshelter with programmable control. **Trans Am Soc Agricult Eng**, v. 31, p; 1440–4, 1988,

MARTINS, J. D. et al. Potencial hídrico foliar em milho submetido ao déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 3, p. 324-334, Jul/Set. 2010.

MATIELLO, J.B.; DANTAS, S.F. de A. de. Desenvolvimento do cafeeiro e do sistema radicular com e sem irrigação em Brejão, PE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 1987, Campinas. **Resumos...** Campinas, 1987. p.165

MATIELLO. Critérios para a escolha da cultivar de café. In: CARVALHO, C. H. S. (Ed.). Cultivares de café: origem, características e recomendações. Brasília: **EMBRAPA Café**, 2008. p. 129-140.

MATIELLO, J.B. et al. Cultura de café no Brasil. Rio de Janeiro: **MAPA/PROCAFÉ**, 2002.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Yield and drought tolerance evaluation of coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Bragantia**, v. 46, p; 403-416, 1987.

MEDRI, M. E.; PEREZ, E. L. Ecofisiologia de plantas da amazônia: anatomia foliar e Ecofisiologia de *Bertholletia excelsa* Humb. and Bonpl. (castanhado-pará). **Acta Amazônica**, v. 9 : (1), p; 15-23, 1979.

MEDRI, M. E.; LLERAS, E. Aspectos da anatomia de folhas de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 10, n. 3, p. 463-493, Set. 1980.

MELO, E. F. **MODIFICAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS, BIOQUÍMICAS E ANATÔMICAS EM CAFEIROS PROGÊNIE SIRIEMA SOB DEFICIÊNCIA HÍDRICA**. 2008. 73 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fisiologia Vegetal, Biologia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

MEINZER, F.C., SALIENDRA, N.Z., CRISOSTO, C.H.. Carbonisotope discrimination and gas exchange in *Coffea arabica* during adjustment in different soil moisture regimes. **Aust.J. Plant Physiol**, v. 19, p. 171–184, 1992.

MENDES, R. M. S. et al. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 38, n. 1, p. 95- 103, Jan/Mar. 2007.

MELKE, A; FETENE, M. Eco-physiological basis of drought stress in coffee (*Coffea arabica*, L.) in Ethiopia. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 3-4, p.225-239, 18 nov. 2014.

NASCIMENTO, E. A. et al. Alterações morfofisiológicas em folhas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) consorciado com seringueira (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.). **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 852-857, jun. 2006.

NOGUEIRA, R. J. M. C.; SANTOS, R. C. Alterações fisiológicas no amendoim submetido ao estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p 41-45, Abr. 2000.

OLIVEIRA, N. K. **CARACTERÍSTICAS DE ANATOMIA FOLIAR DE CAFEEIROS IMPLANTADOS COM O USO DE POLÍMERO HIDRORRETENTOR**. 2013. 55 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

PEREIRA, F.J. **Caracterização das modificações morfo-anatômicas e bioquímicas, em ciclos de seleção do milho Saracura, para tolerância ao encharcamento do solo**. Lavras: UFLA, 2008. 78p.

PIEVE, L. M. **Uso de polímeros hidrorretentor na implantação de lavourascafeeiras**. 2012. 66 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

PINHEIRO, H.A et al. Drought tolerance in relation to protection against oxidative stress in clones of *Coffea canephora* subjected to long-term drought. **Plant Science** (Limerick), v. 167, p; 1307-1314, 2004.

PINHEIRO, H. A. et al. Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. **Annals of Botany**, London, v. 96, n. 1, p. 101-108, 2005.

PITMAN, W. D. et al. Histological differences in mointure-stressed and nonstressed kleingrass forage. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 793-795, 1983.

POLTRONIER, Y. ANATOMIA FOLIAR DE CAFEEIROS SOB DEFICIENCIA DE ZINCO. In: Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, VII, 2011, Araxá, MG. **Anais...**

RAMIRO, D. A. et al. Caracterização anatômica de folhas de cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 363–372, dez. 2004.

RECH, E. Mudanças no clima fazem aumentar praga e doenças na cafeicultura. 2007. <Disponível em <http://www.agrocircuito.com.br>> Acesso em 20 jul. 2017.

REIS, A. M. **CARACTERIZAÇÃO MORFOFISIOLÓGICA DE GENÓTIPOS DE Coffea arabica SOB DÉFICIT HÍDRICO**. 2014. 52 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

RENA, A. B.; MALAVOLTA, Eurípides; ROCHA, Marcos et al., Cultura do cafeeiro; Fatores que Afetam a Produtividade. Piracicaba; **Associação da Potassa e do Fosfato**, 1986. 447 p.

RENA, A.B.; GUIMARÃES, P.T.G. Sistema radicular do cafeeiro: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: **EPAMIG**, 2000. 80p.

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

SACK, L.; HOLBROOK, N.M. Leaf hydraulics. **Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol** v. 57, p. 361–381, 2006.

SALATI, E.; SANTOS, A.A. dos; NOBRE, C. **As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros**. 2004.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**. v. 2, p; 287-294, 1998.

SANTOS, C. V.. **Índices de seca para seleção de genótipos de sorgo granífero tolerantes ao déficit hídrico**. 2017. 50 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João del Rei, Sete Lagoas, 2017.

SILVA, M. A. et al. Yield components as indicators of drought tolerance of sugarcane. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 620-627, Nov-Dez. 2008.

SILVA, C. A. et al. Produtividade e potencial hídrico foliar do cafeeiro ‘Catuai’ em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 1, p. 21-25, jan./fev. 2008.

SILVA, A. V. L. **CLIMA E QUALIDADE NATURAL DE BEBIDA DE CAFÉ NA REGIÃO MOGIANA DO ESTADO DE SÃO PAULO**. 2010. 66 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agricultura Tropical e Subtropical, Gestão de Recursos Agroambientais, Instituto Agrônômico de Campinas, Campinas, 2010.

SILVA, S. D. A.; LIMA, J. S. D. S.; OLIVEIRA, R.B. D. Modelo agrometeorológico na estimativa da produtividade de duas variedades de café arábica considerando a variabilidade espacial. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 1-10, 2011.

SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, v.69, p. 274-278, 1977.

TAIZ L & ZEIGER, **Fisiologia vegetal**. 3 ed. Porto Alegre, Artmed. 2004, 719p.

TAVARES, T.O.; COSTA, W. C. A.; LEITE, P. J. S. **INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS OCORRIDAS NA SAFRA 2013/14 E NO DESENVOLVIMENTO DO CAFEIRO NA REGIÃO DE ARAXÁ, MG**. Araxá, Mg: Instituto de Ciências da Saúde, Agrárias e Humanas (ISAH), 2014.

VENTURIN, R. P. et al. A pesquisa e as mudanças climáticas na cafeicultura. In: SEMANA INTERNACIONAL DO CAFÉ, 2013, Belo Horizonte. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.34, p. 34-43, 2013. Edição Especial

VOLTAN, R. B. Q.; FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Variação na anatomia foliar de azeiteiros submetidos a diferentes intensidades luminosas. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Brasília, v. 4, n. 1, p. 99-105, 1992.

QUEIROZ-VOLTAN, Rachel Benetti et al. Caracterização da anatomia foliar de cafeeiros arábica em diferentes períodos sazonais. **Biotemas**, [s.l.]. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). v. 27, n. 4, p.1-10, 18 ago. 2014.

WYLIE, R. B. Differences in foliar organization among leaves in four locations in the crown of an isolated tree (*Acer platanoides*). **Iowa Academy of Science Proceedings**, v. 56, p; 189-198, 1949.

YAMASHITA, N.; KOIKE, N.; ISHIDA, A. Leaf ontogenetic dependence of light acclimation in invasive and nativesubtropical trees of different successional status. **Plant Cell and Environment**, v. 25(10), p; 1341-1356, 2002.

ZAMBOLIM, L. et al. Seca de ramos do cafeeiro – fatores bióticos e abióticos. In: ZAMBOLIM, L. **Boas práticas agrícolas na produção de café**. Viçosa: UFV, 2006. p. 1-60.

ANEXO A: Dados relacionados as características anatômicas de plantas de *Coffea arabica* submetidas a diferentes condições hídricas.

Tabela 1 – Média do número de estômatos (NE) e média da densidade estomática (DE) mm² dos três tratamentos nas diferentes estações do ano. Os valores não apresentaram diferença pela ANOVA e teste de Tukey (P<0,05).

Estações	Número de Estômatos			Densidade Estomática (estômatos mm ²)		
	CCE	CSE	SSE	CCE	CSE	SSE
Primavera	59,7	53,27	49,4	171,59	157,23	149,94
Verão	58,25	53,83	56,47	176,8	158,85	171,39
Outono	50,4	50,33	49,4	168,81	171,65	174,54
Inverno	65,6	66,75	70,1	199,92	202,6	232,5

Tabela 2 – Médias das espessuras das epidermes da face adaxial e abaxial e média da espessura do parênquima esponjoso dos três tratamentos nas diferentes estações do ano. Os valores não apresentaram diferença pela ANOVA e teste de Tukey (P<0,05).

Estações	Epiderme (μm ²)						Parênquima (μm ²)		
	Adaxial			Abaxial			Esponjoso		
	CCE	CSE	SSE	CCE	CSE	SSE	CCE	CSE	SSE
Primavera	23,12 Aa	25,40 Ab	21,97 Ab	28,65 Aa	26,68 Aa	26,66 Abc	203,03	187,2	178,67
Verão	24,45 Aba	28,45 Aa	22,53 Bb	31,082 Aa	27,50 Aba	22,78 Bc	193,58	197,54	195,52
Outono	28,26 Aa	29,37 Aa	25,75 Ab	32,08 Aa	30,98 Aa	34,51 Aa	202,87	200,73	205,28
Inverno	25,49 Ba	23,39 Bb	32,27 Aa	31,47 Aa	29,26 AB	27,53 Ab	195,14	201,86	192,28

Tabela 3 – Média da espessura do mesofilo e média da espessura total do limbo dos três tratamentos nas diferentes estações do ano. Os valores não apresentaram diferença pela ANOVA e teste de Tukey ($P < 0,05$).

Estações	Mesofilo (μm^2)			Total do Limbo (μm^2)		
	CCE	CSE	SSE	CCE	CSE	SSE
Primavera	270,32	249,05	238,11	307,52	307	295,3
Verão	237,95	255,62	250,08	298,08	317,38	301,13
Outono	255,32	256,62	273,27	321,02	321,27	338,64
Inverno	249,26	248,63	251,4	309,48	304,64	289,27

Tabela 4 – Médias das áreas da nervura, feixe vascular e floema dos três tratamentos nas diferentes estações do ano. Os valores não apresentaram diferença pela ANOVA e teste de Tukey ($P < 0,05$).

Estações	Nervura (μm^2)			Floema (μm^2)			Feixe Vascular (μm^2)		
	CCE	CSE	SSE	CCE	CSE	SSE	CCE	CSE	SSE
Primavera	264351,15	238088,15	281132,02	80276,98	69721,71	75503,56	198315,79	207008,95	219276,40
Verão	250886,65	335817,43	298686,21	99930,44	101186,41	93218,28	218232,03	244859,31	219213,97
Outono	237069,51	279318,83	330315,61	67554,98	91873,99	114361,04	179904,31	214250,24	230502,24
Inverno	206678,90	198230,55	245859,94	58196,78	60111,13	82969,13	161558,91	151374,41	187259,73

ANEXO B: Fotomicrografias das características anatômicas de plantas de *Coffea arabica* submetidas a diferentes condições hídricas

Figura 1: Fotomicrografias de secções paradérmicas da epiderme na face abaxial de folhas de *Coffea arabica* submetidas a diferentes condições hídricas, CCE (A, D, G e J), CSE (B, E, H, K) e SSE (C, F, I, L) e épocas do ano Primavera 2015 (A, B, C), Verão 2015-16 (D, E, F), Outono (G, H, I) e Inverno (J, K, L). e (estômatos).

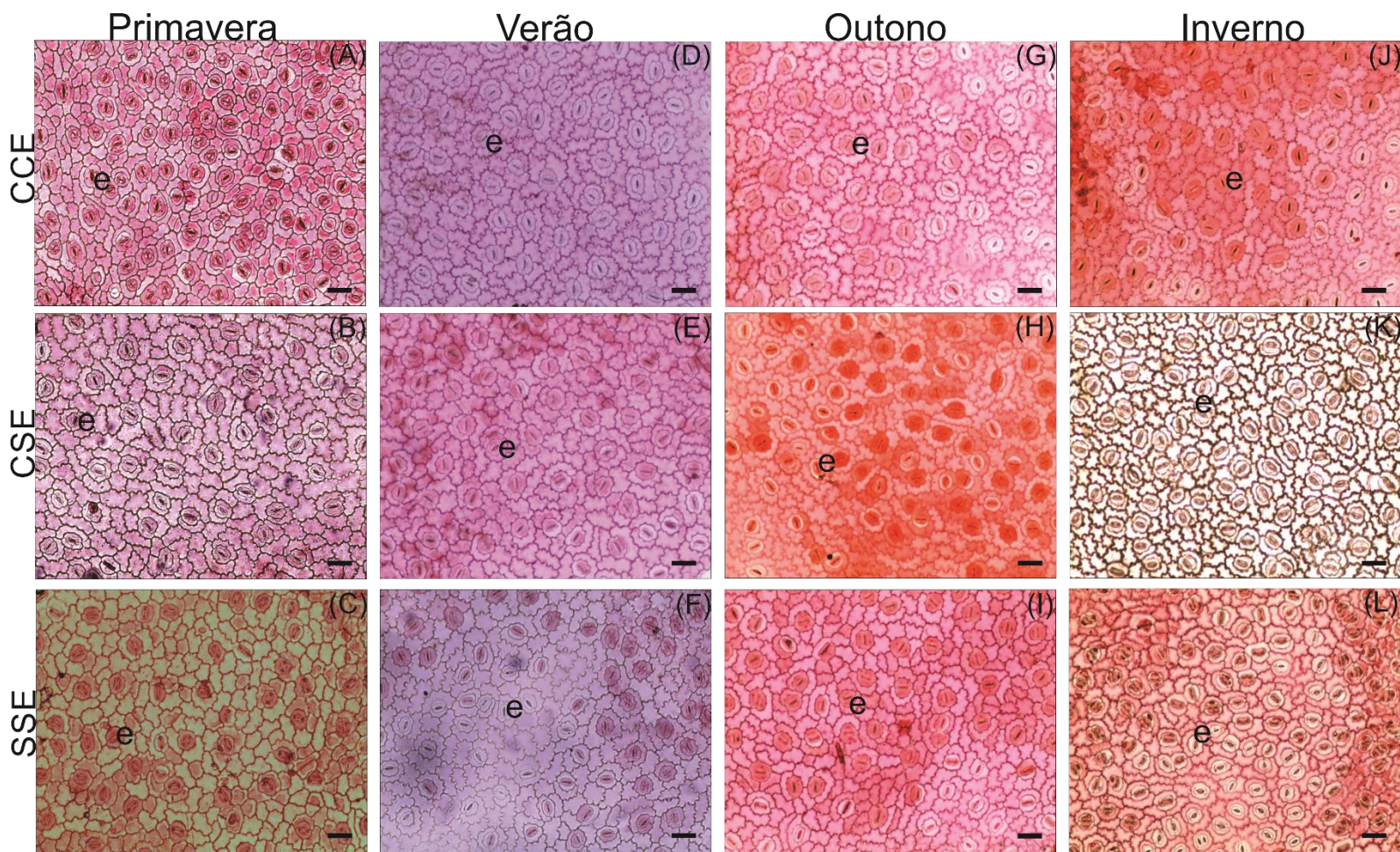


Figura 2: Fotomicrografias de secções transversais da nervura central de folhas de *Coffea arabica* submetidas a diferentes condições hídricas, CCE (A, D, G e J), CSE (B, E, H, K) e SSE (C, F, I, L) e épocas do ano Primavera 2015 (A, B, C), Verão 2015-16 (D, E, F), Outono (G, H, I) e Inverno (J, K, L). ead (epiderme na face adaxial), pp (parênquima paliçádico), pe (parênquima esponjoso), eab (epiderme na face abaxial), x (xilema) e f (floema).

