

FERNANDA ALMEIDA GRISI

**RELAÇÕES HÍDRICAS, BIOQUÍMICAS E ANATÔMICAS DE MUDAS
DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) ‘CATUAÍ’ E ‘SIRIEMA’ SUBMETIDAS
A DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. José Donizeti Alves

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2006

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Grisi, Fernanda Almeida

Relações hídricas, bioquímicas e anatômicas de mudas de café (Coffea arabica L) Catua e Siriema submetidas à deficit hídrico / Fernanda Almeida Grisi. – Lavras : UFLA, 2006.

59 p. : il.

Orientador: José Donizeti Alves.
Dissertação (Mestrado) - UFLA.
Bibliografia.

1. Café. 2. Muda. 3. Déficit hídrico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.7335

FERNANDA ALMEIDA GRISI

**RELAÇÕES HÍDRICAS, BIOQUÍMICAS E ANATÔMICAS DE MUDAS
DE CAFÉ (*Coffea arabica* L.) ‘CATUAÍ’ E ‘SIRIEMA’ SUBMETIDAS
A DÉFICIT HÍDRICO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fisiologia Vegetal, para a obtenção do título de “Mestre”.

Profa. Dra. Ângela Maria Soares

UFLA

Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho

EMBRAPA/Café

Prof. Dr. José Donizeti Alves
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS-BRASIL
2006

Aos meus pais, Lígia e Fernando

Dedico.

Aos meus irmãos, Karine e Humberto

Ao meu noivo, Alexandre

À minha avó, Maria do Carmo

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao Senhor Deus, por me permitir cursar o mestrado e me capacitar diariamente para tanto.

À minha Mãe, por ter me conduzido sempre com amor incondicional e me dar a honra de ser sua filha e ao meu Pai, por contribuir com minha educação e ser um exemplo de vida; Aos meus irmãos e ao meu noivo pelo incentivo e amor.

Aos professores Dr. José Donizeti Alves pela orientação singular e amizade; Dra. Ângela Maria Soares por sua grande contribuição em relação ao trabalho e Dr. Evaristo Mauro de Castro, por ter colaborado muito com o trabalho.

Ao Dr. Carlos Henrique Siqueira de Carvalho pela disponibilização das mudas e participação na banca.

À toda equipe do Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular pela contribuição para realização do trabalho: Marcelo Murad, Daniela Fries, Saulo, Emanuelle, Guilherme, Ivan, Thatiane, Darlan e Larissa.

Aos funcionários Tanhã, Evaristo, Lena, Izonel, Joel e Odorêncio, pela ajuda.

Ao Prof. Dr. Luis Edson, pelos ensinamentos teóricos e de vida e ao professor e colega Paulo Cairo, pelo incentivo e amizade.

À todos os colegas da Fisiologia que me deram muita força durante o mestrado, principalmente, Guto, Maiana, Fernanda Soares, Samantha, Carlos Vinício, Alessandro, Morbeck, Grécia, Shan, Lenaldo, Marilza, Anderson e Girlene .

Ao casal Carlos Rodrigues e Tati, pelo apoio e amizade e aos meus colegas conterrâneos que me ajudavam a matar as saudades de casa.

Aos meus professores orientadores da iniciação científica na UESB.

À UFLA, pela oportunidade de realização do curso e à CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste sonho que se tornou realidade.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Aspectos sócio-econômicos da cultura.....	03
2.2 Classificação taxonômica do cafeeiro.....	03
2.3 Descrição do material genético Siriema.....	04
2.4 Aspectos ecofisiológicos do cafeeiro.....	05
2.5 O estresse hídrico em plantas.....	06
2.6 A deficiência hídrica no cafeeiro	10
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Caracterização experimental e delineamento estatístico.....	15
3.2 Características avaliadas.....	16
3.2.1 Características hídricas	16
3.2.2 Características bioquímicas	17
3.2.2.1 Extração para quantificação de açúcares redutores e solúveis totais, sacarose e amido	18
3.2.2.2 Quantificação de açúcares redutores.....	18
3.2.2.3 Quantificação de açúcares solúveis totais e amido.....	19
3.2.2.4. Quantificação de sacarose.....	19
3.2.2.5 Extração para quantificação do aminoácido prolina.....	19
3.2.2.6 Quantificação do aminoácido prolina.....	19
3.2.3 Características anatômicas.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
4.1 Características hídricas.....	22
4.2 Características bioquímicas.....	31

4.3 Características anatômicas.....	37
5 CONCLUSÕES.....	49
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

RESUMO

GRISI, Fernanda Almeida. **Relações hídricas, bioquímicas e anatômicas de mudas de café (*Coffea arabica* L.) Catuaí e Siriema submetidas a déficit hídrico.** 2006. 59 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

Objetivou-se verificar a existência de características de resistência à seca em mudas do material genético Siriema em relação à cv. Catuaí, comparando tratamentos irrigados e não irrigados. O experimento foi conduzido em março/abril-2005, em viveiro com sombrite e plástico na área experimental do DBI/UFLA, MG. Foram utilizadas mudas de cafeeiros com seis meses de idade, seis a oito pares de folhas, provenientes do viveiro da Fundação Procafé, em Varginha, MG. Antes da indução dos tratamentos, as mudas foram irrigadas diariamente; depois, os tratamentos foram estabelecidos da seguinte forma: um grupo continuava sendo irrigado, outro grupo foi submetido à suspensão de rega e um terceiro grupo era reirrigado a cada dois dias. As mudas reirrigadas foram avaliadas 24 horas e 48 horas após a irrigação, para avaliação a capacidade de recuperação. O período experimental foi 20 dias e a unidade experimental foi composta por uma planta, quatro repetições, dispostas em DIC. Não houve diferença entre os cafês para o potencial hídrico. Para condutância estomática, o ‘Siriema’ demonstrou possuir uma melhor estratégia de resposta ao estresse hídrico, impedindo que perdesse água mais rapidamente que a cv. Catuaí. Observou-se similaridade de comportamento da transpiração com a condutância estomática. Ao décimo quarto dia, o ‘Siriema’ manteve a atividade estomática funcional, diferentemente da cv. Catuaí. Para os carboidratos, de forma geral, houve decréscimo nas concentrações com o aumento do déficit. Para a epiderme adaxial e abaxial, índice estomático e razão PP/LF não houve diferenças significativas em nenhuma situação estudada. Para o parênquima esponjoso no tratamento irrigado, o ‘Siriema’ apresentou maior espessura em relação à cv. Catuaí. Para o parênquima paliçádico, não houve diferença entre os cafês. O limbo foliar do ‘Siriema’ foi mais espesso que a cv. Catuaí, independentemente do tratamento. Para o diâmetro polar e equatorial houve diferenças entre os tratamentos irrigados e não irrigados de cada café e, entre estes, os diâmetros polar e equatorial foram maiores no tratamento não irrigado para o ‘Siriema’. Para a relação DP/DE e densidade estomática, o ‘Siriema’ não irrigado apresentou-se maior em relação à cv. Catuaí não irrigada. Na condição deste experimento, os parâmetros avaliados permitiram discriminar satisfatoriamente os dois cafês estudados em termos de tolerância diferencial à seca, a favor do material ‘Siriema’.

¹ Comitê Orientador: Prof. Dr. José Donizeti Alves - UFLA (Orientador).

ABSTRACT

GRISI, Fernanda Almeida. **Water relations, biochemical and anatomical changes in coffee (*Coffea arabica* L.) Catuaí and Siriema seedlings submitted to water deficit.** 2006. 59 p. Dissertation (Máster in Plant Physiology) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.¹

This paper aimed to verify the existence of these drought characteristics in seedlings during coffee development, the material Siriema was compared with Catuaí cultivar, in conditions of irrigation and without irrigation. The experiment was conducted in greenhouse during March-April/2005 covered, with mesh screen and plastic in experimental area of DBI/UFLA, MG. There were used coffee seedlings of 'Siriema' and 'Catuaí' with six months age, containing six to eight pairs of leaves, from the nursery house of the Fundação Procafé in Varginha, MG. Before the treatments induction, the seedlings were irrigated daily, after the treatments were established in the following: one group continued to be irrigated, another group was submitted to irrigation suspension and a third group was irrigated again for two days. The seedlings reirrigated were evaluated with 24 and 48 hs, in order to evaluate the recovery capacity. The experimental period lasted 20 days, the experimental unit was composed by one plant with 4 replicates, disposed in fully randomized design. There were no differences among the coffee genotypes for water potential. The stomatic conductance from 'Siriema' showed the best strategy to water stress, hindering the water more quickly than Catuaí cv. At fourteen day the 'Siriema' kept the stomatal activity functional, differently from 'Catuaí' cultivar. In a broad sense, for carbohydrates, occurred a decrease in concentrations with the increase in days of water suspension. For the adaxial and abaxial epidermis, stomatic index and PP/LF ratio, there were no significant differences found. Considering the spongy parenchyma in irrigated treatment, the 'Siriema' showed higher thickness than Catuaí cv. For the palisadic parenchyma, there no difference between the coffee genotypes. The 'Siriema' leaf blade was thicker than 'Catuaí' independent of the treatment. For the polar diameter and equatorial it was found differences between irrigated and non irrigated for each coffee genotype and between them. The polar and equatorial diameters were higher in non irrigated treatment for 'Siriema'. For the DP/DE ratio for stomatal density the non irrigated 'Siriema' showed higher in relation non irrigated Catuaí cv. In this experiment conditions, the evaluated parameters allowed to discriminate satisfactorily the both coffee genotype studied in relation of differential tolerance, favouring the material Siriema.

¹ Guidance Committee: Prof. Dr. José Donizeti Alves - UFLA (Adviser).

1 INTRODUÇÃO

O déficit hídrico é uma das condições que mais limitam a produção primária dos ecossistemas e o rendimento das culturas, principalmente pelas restrições que impõem à fixação fotossintética do carbono. O estudo das relações hídricas no cafeeiro é de fundamental importância, uma vez que pequenas diminuições na oferta de água podem reduzir substancialmente o crescimento, ainda que não se observem características visíveis da deficiência hídrica.

O vigor das plantas de café é uma característica genética muito importante, especialmente nas condições da cafeicultura brasileira, cultivada a pleno sol, na qual a produtividade das plantas pode ser inteiramente manifestada levando a planta ao desgaste e comprometendo a capacidade de recuperação para as safras seguintes. Nestas condições, o vigor e a resistência à seca são desejáveis, pois, plantas que se mantêm mais túrgidas e enfolhadas no período da pós-colheita, normalmente seco, são capazes de manter uma maior florada e bom pegamento dos frutos na safra seguinte. Assim, o entendimento das relações hídricas no cafeeiro e de suas implicações ecofisiológicas pode oferecer subsídios para que se possa avaliar melhor a importância da água para os crescimentos vegetativo e reprodutivo, permitindo, ainda, tomar decisões conscientes sobre o manejo da lavoura e desse caro e escasso componente de produção.

Vários indicadores fisiológicos que caracterizem o status hídrico foliar e o potencial de tolerância à seca em cultivares de café têm sido pesquisados. Apesar dos esforços para a compreensão das relações estabelecidas entre o cafeeiro e o seu ambiente, ainda falta muito para ser elucidado principalmente as relações hídricas, devido à complexidade em discernir os efeitos da água, daqueles determinados pela temperatura e luz. As pesquisas relacionadas ao

melhoramento genético do cafeeiro, objetivando desenvolver cultivares com características vegetativas e produtivas adaptadas às condições climáticas e ao ataque evolutivo de pragas e doenças, vêm alcançando êxito em tais objetivos.

O programa de melhoramento genético do cafeeiro, visando à obtenção de cultivares com resistência ao bicho mineiro e à ferrugem alaranjada do cafeeiro, desenvolvido no MAPA/Funprocafé, tem apontado ‘Siriema’ como um material genético de potencial produtivo semelhante às melhores variedades comerciais usadas como padrão, além de apresentar características específicas em relação ao porte, época de maturação de frutos, tamanho de semente, resistência a nematóides, resistência a doenças e resistência à seca, credenciando-o para a utilização em diversas regiões cafeeiras.

Apesar das evidências que apontam o ‘Siriema’ como um material tolerante à seca, não existem estudos que expliquem os mecanismos envolvidos ou mesmo que comprovem esta característica. Pelo exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a existência de características de resistência ao déficit hídrico em mudas do ‘Siriema’ em relação à ‘Catuaí’, comparando tratamentos irrigados e não irrigados desses cafés a partir de estudos hídricos, bioquímicos e anatômicos.

REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aspectos sócio-econômicos da cultura

O café é a mais importante “commodity” do comércio mundial de produtos agropecuários, representando uma importante fonte de renda para vários países da América Latina, África e Ásia (DaMatta, 2004). O agronegócio mundial do café movimentava anualmente, mais de 90 bilhões de dólares, envolvendo, para isso, cerca de 500 milhões de pessoas, da produção ao consumo final (Newscafeicultura, 2004). O Brasil é o maior produtor de café, responsável por, aproximadamente, 30% da produção mundial, o que gira em torno de 115 milhões de sacas (60 kg) comercializadas anualmente nas últimas safras. Atualmente, a cafeicultura gera mais de cinco milhões de empregos e uma receita anual da ordem de 4 bilhões de dólares, dos quais a metade é oriunda de exportações. Internamente, contribui com a fixação do homem no campo, a melhoria da renda de pequenos produtores, a distribuição de riquezas e a melhor qualidade de vida (Embrapa Café, 2005).

A produção brasileira, como também a mundial, poderia ser bem mais significativa, caso condições desfavoráveis ao cultivo, que reduzem a sua produtividade, não ocorressem, particularmente o suprimento limitado de água (Dias et al., 2005b).

2.2 Classificação taxonômica do cafeeiro

O café pertence à família *Rubiaceae*, a qual abrange mais de 10.000 espécies agrupadas em 630 gêneros. As espécies do gênero *Coffea* distribuem-se, geograficamente, em uma ampla região do continente Africano, em Madagascar e regiões vizinhas (Berthaud & Charrier 1988). Pela classificação

mais recente, segundo Bridson (1994), os cafeeiros são agrupados em dois gêneros: *Psilanthus* Hook. E *Coffea* L., os quais se diferenciam por particularidades nas estruturas florais. Entre as formas selvagens de cafeeiro, algumas apresentam características vantajosas, do ponto de vista da resistência à doenças e a pragas, tolerância à seca e outras variações do ambiente (Andrade Netto, 2005). Embora exista um grande número de espécies de café, somente a *Coffea arabica* L. e a *Coffea canephora* Pierre têm importância econômica, uma vez que aproximadamente 70% do café comercializado provêm dos cafés de arábica e 30% dos cafés de canéfora (Berthaud & Charrier 1988).

2.3 Descrição do material genético Siriema

O material genético denominado Siriema é um híbrido em gerações avançadas do cruzamento entre *C. racemosa* e *C. arabica*. Exemplos de materiais genéticos com bom vigor são os cafés Mundo Novo e Icatú. A resistência à seca, associada ao vigor, é relatada para a cv. Conillon de *C. Canephora*. O ‘Siriema’ é uma população oriunda do cruzamento de *Blue Mountain* e *C. racemosa*, retrocruzadas com ‘Mundo Novo’, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), SP, selecionadas em Caratinga, MG e ali cruzadas com ‘Catimor’, para incorporar resistência à ferrugem, porte baixo e produtividade. A geração F2 foi selecionada em Varginha, MG, a F3 em Coromandel, MG e F4 (20 progênies) plantada em ensaio em Varjão de Minas, MG e também em Coromandel, MG, locais onde existe grande pressão de ataque de bicho-mineiro (Matiello et al., 2004).

Em um ensaio visando estudar o vigor e a tolerância a seca desse material genético com 2,5 anos de idade, após um período de estresse hídrico e nutricional, Matiello et al. (2003; 2004) verificaram um vigor equivalente às

notas 4 e 5, contra 1 a 3 em outros materiais de café arábica. Segundo esses autores, todas as progênies oriundas do material Siriema se apresentavam bem vegetadas, com plantas túrgidas, enfolhadas e sem seca de ponteiros, mostrando-se destacadas em relação às plantas vizinhas de variedades de arábica.

2.4 Aspectos ecofisiológicos do cafeeiro

O café arábica (*Coffea arabica* L.) é originário de áreas florestais elevadas da Etiópia, próximas à linha equatorial, em latitudes variáveis de 6° a 9° N, altitudes médias de 1.500 a 1.900 metros, temperatura média anual oscilando entre 17°C e 20°C e as chuvas da ordem de 1.500 a 2.000 mm anuais. Temperaturas médias anuais entre 18°C e 22°C parecem ser os limites mais indicados à espécie *Coffea arabica*. Embora o cafeeiro possa vegetar em uma extensa área geográfica, em sua maior parte entre os trópicos, a sua produção econômica se restringe a uma área bem menor, na qual os fatores ecológicos são mais favoráveis (Alfonsi, 2000).

O cafeeiro pode ser conduzido em ambientes de baixa luminosidade, pois apresenta uma baixa irradiância de saturação, variando de 300 a 600 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (Fahl et al., 1994; Kumar & Tieszen, 1980). Isso faz com que possa ser cultivado em sistemas mais sombreados, onde há predominância de baixa radiação. Ainda que Alves (1985) tenha constatado que a fotossíntese potencial do cafeeiro tem capacidade de operar em temperaturas de 32°C; (Kumar & Tieszen, 1976), verificaram que sob essa temperatura, a fotossíntese líquida sofre severa limitação imposta pelos estômatos.

Segundo Kumar & Tieszen (1980), as altas taxas fotossintéticas foram encontradas sob moderada irradiância e, com 1200-1300 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, não foram verificados danos no aparelho fotossintético. No entanto, níveis de radiação superiores a 2200 $\mu\text{molm}^{-2}\text{s}^{-1}$, comuns em dias ensolarados das regiões tropicais, podem induzir à fotoinibição (Nunes et al., 1993).

Fahl & Carelli (1994), estudando o efeito do sombreamento de 30%, 50% e 100% de luz solar em processos fisiológicos envolvidos na produção (crescimento, teores de clorofila, nitrogênio total e atividade da redutase do nitrato), verificaram que os diversos cafês estudados responderam diferentemente aos níveis de luz.

O cafeeiro, embora possua característica umbrófila, típica de ambiente de sub-bosque, apresenta elevada produção quando cultivado a pleno sol. Em razão dessa característica, é comum a fotoinibição provocada pela saturação do aparelho fotossintético sob elevada irradiância (DaMatta & Maestri, 1997). No Brasil, as cultivares de café foram selecionadas a pleno sol, e, por isso, apresentam, potencialmente, adaptações à elevada irradiância (DaMatta & Rena, 2001). Contudo, a baixa relação entre as clorofilas a e b, característica das plantas de sombra, tem sido mantida nas folhas expostas ao sol (Fahl et al., 1994). Por isso, o cafeeiro pode ser considerado como uma planta facultativa de sombra, com alta plasticidade às variações de irradiância (DaMatta & Rena, 2001).

2.5 O estresse hídrico em plantas

O termo estresse deriva da palavra latina “stringere” e, do ponto de vista fisiológico, é definido como um desvio significativo das condições ótimas para a vida (considerando a sobrevivência e reprodução), induzindo mudanças e

respostas em todos os níveis funcionais do organismo (Nogueira et al., 2005). A intensidade do estresse pode variar de fraca a forte e o tempo de duração do

mesmo pode ser curto, longo ou intermitente. Qualquer fator que restringe o crescimento, a reprodução e perturba o equilíbrio de um sistema, aumentando os gastos energéticos do organismo, é denominado fator de estresse. Estresses considerados negativos podem gerar danos ao desenvolvimento vegetal e, numa situação extrema e irreversível, resultar na morte da planta (Nogueira et al., 2005).

A capacidade para sobreviver ao estresse é regida por mecanismos que conferem resistência ou tolerância. Existem, ainda, respostas ao estresse consideradas de ajuste (respostas reversíveis), escape ou adaptações (respostas evolutivas irreversíveis). Todos esses mecanismos podem ocorrer por meio da combinação de processos comportamentais, morfológicos, anatômicos, fisiológicos e bioquímicos e dependem, primordialmente, de processos moleculares (Nogueira et al., 2005).

Geralmente, a deficiência hídrica nas folhas ocorre quando a taxa de transpiração excede a taxa de absorção de água e esta deficiência pode ser um componente de variados estresses, como, por exemplo, a baixa disponibilidade hídrica do solo, solos salinos ou temperaturas muito baixas (Bray, 1997). Ainda segundo este último autor, as respostas das plantas ao déficit hídrico dependem da espécie e do genótipo, da duração e da severidade da perda de água, da idade e do estágio de desenvolvimento, do órgão e do tipo de célula e do compartimento subcelular. Além disso, uma perda gradativa de água pode permitir uma adaptação à condição de déficit, restringindo a extensão da injúria.

A capacidade das plantas de tolerar a seca existe em função de diversas características anatômicas, morfológicas e fisiológicas, de caráter constitutivo ou

indutivo, que interagem, permitindo a manutenção dos processos de crescimento e desenvolvimento. O acúmulo de solutos orgânicos de baixo peso molecular (aminoácidos, betainas e açúcares) e íons inorgânicos (potássio e cloro), os quais

estão diretamente relacionados com o ajustamento osmótico das células, normalmente ocorre em plantas submetidas a diferentes fatores de estresse, incluindo a deficiência hídrica. Entretanto, a capacidade de expressar o ajustamento osmótico, bem como a natureza do principal soluto responsável pelo aumento do potencial osmótico, diferem substancialmente entre espécies e cultivares (Martim, 2003).

Outro componente de fundamental importância na manutenção da turgescência, em resposta a decréscimos no potencial hídrico da planta, é a diminuição da condutância estomática, ou seja, o controle da abertura dos estômatos. Todavia, quando o estômato se fecha para proteger a planta da perda de água, ele, simultaneamente, restringe a difusão do CO₂ atmosférico, conseqüentemente provocando queda na taxa fotossintética. A relação entre a condutância estomática e as taxas fotossintética e transpiratória tem sido relatada (DaMatta, 2003).

A interação entre a demanda evaporativa da atmosfera, o potencial de água no solo, a distribuição do sistema radicular e os processos fisiológicos revelam o estado energético de água na planta (Clark & Hiler, 1973). A expansão foliar, a abertura estomática e outros processos associados à fotossíntese são diretamente afetados pela redução do potencial de turgescência da folha, pois, a capacidade da planta em manter a turgescência foliar é uma grande adaptação ao déficit hídrico (Jones & Turner, 1978).

Em resposta à condição de baixa disponibilidade hídrica, a maioria das plantas reduz progressivamente a taxa fotossintética. Durante as fases iniciais do

estresse, o fechamento dos estômatos é o principal fator limitante da fotossíntese (Chaves, 1991; Kaiser, 1987) e, posteriormente, podem ocorrer quedas na taxa fotossintética devido a limitações fotoquímicas, aumento na resistência

mesofílica e alterações na atividade da carboxilação, denominadas limitações não estomáticas (Chaves, 1991; Kaiser, 1987; Krieg, 1983).

Nas situações em que o período de seca é prolongado, quando há dessecação é mais intensa ou outros estresses são impostos, podem ocorrer alterações nas funções metabólicas (Kaiser, 1987). Diversos estudos têm demonstrado que o metabolismo de carboidratos é muito sensível às alterações no status hídrico das plantas. Chaves (1991) descreveu que o particionamento dos assimilados é o resultado de um mecanismo coordenado dos processos metabólicos e de transporte, entre as relações fonte/dreno e é dependente de fatores genéticos, ambientais e de desenvolvimento. Como o déficit hídrico afeta a produção e o consumo de fotoassimilados, inevitavelmente ele afetará o particionamento do carbono foliar e de toda a planta.

Tem sido observado em diversos estudos uma forte correlação entre o aumento na atividade das enzimas responsáveis pela hidrólise do amido e o acúmulo de açúcares em plantas submetidas à baixa disponibilidade de água. Quando polissacarídeos de reserva são mobilizados, o produto da hidrólise, freqüentemente, é a sacarose, principal açúcar de transporte em plantas. Para que órgãos em crescimento (drenos) possam metabolizar essa sacarose, torna-se necessária sua degradação (Martim, 2003).

Em períodos prolongados de seca, o decréscimo na disponibilidade de água para processos associados ao transporte provoca um distúrbio na concentração de diversos metabólitos, seguido por alterações na síntese de

aminoácidos e carboidratos (Foyer et al., 1998). Um exemplo típico de desvio na rota de aminoácidos é o acúmulo de prolina, comumente relacionada a estas condições.

2.6 A deficiência hídrica no cafeeiro

O cafeeiro é uma espécie de relativa tolerância à seca, em função da estabilidade de vários parâmetros fisiológicos permanecerem relativamente constantes dentro de determinada faixa de deficiência hídrica. Entretanto, deve-se evitar a generalização, uma vez que existem diferenças no comportamento entre cultivares, dentro das duas espécies de importância comercial, *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora*, encontrando-se algumas bastante tolerantes e outras sensíveis (Martim, 2003).

O déficit de água no solo é um dos principais fatores ambientes que limitam a produtividade do cafeeiro. A baixa disponibilidade de água no solo pode ter efeitos prejudiciais no crescimento, florescimento, frutificação e outros importantes processos fisiológicos determinantes da produtividade (DaMatta, 1997; Nunes, 1976). O fechamento dos estômatos, para evitar a perda de água pela transpiração, é considerado como o mecanismo mais importante da reação da planta à falta de água no solo (Nunes, 1976). A transpiração da planta toda, em arbustos como o cafeeiro, é difícil de ser determinada, principalmente em condições de campo. A medida do fluxo de seiva do xilema tem sido utilizada como um método para estimar precisamente a transpiração de toda a planta.

Em estudo sobre o comportamento fisiológico nos cafés *Coffea arabica* L. ‘Acaia’ e ‘Topázio’ submetidas a duas condições de disponibilidade hídrica (com e sem irrigação), Freitas et al. (2000), sugeriram maior sensibilidade da cv.

Topázio à baixa disponibilidade de água, uma vez que esta cultivar apresentou menores potenciais hídricos e maior queda de folhas no sistema sem irrigação. De maneira semelhante, dois clones da espécie *Coffea Canephora*, variedade Conillon (Clone 46 e clone 120), responderam de maneira diferente à condição de solo seco. Em períodos prolongados de seca, o clone 120 mostrou maior

eficiência no uso da água que o 46, possibilitando a manutenção da taxa fotossintética e tornando-se, conseqüentemente, mais apto a produzir nessa condição de estresse (DaMatta et al., 2003).

A eficiência do uso da água é estreitamente associada à pressão parcial interna de CO₂ integrada ao longo do tempo (DaMatta et al., 2000). Em *C. arabica*, parece existir uma relação direta entre eficiência do uso da água e tolerância à seca (Meinzer et al., 1990, 1992).

Em condições naturais, o déficit hídrico é normalmente associado a altas irradiâncias, contudo, existem poucas informações sobre o comportamento fisiológico do cafeeiro integrando essas variáveis edafoclimáticas no campo (Carelli et al., 2000a). Rena & Maestri (2000) observaram, em condições de campo, nas quais a temperatura varia constantemente, que a redução na condutância mesofílica desempenha um importante papel na regulação da assimilação do CO₂ à medida que o potencial hídrico foliar decresce. Essa redução na condutância mesofílica em resposta à desidratação foliar provavelmente apresenta, como causa fundamental, a inibição do transporte de elétrons e a redução na atividade enzimática durante o processo fotossintético. DaMatta (1995) corrobora esta afirmação, sugerindo, também, que a deficiência no processo de carboxilação, e não o fechamento estomático, é a principal limitação da fotossíntese.

Estudando parâmetros fisiológicos em plantas de *Coffea arabica* L. sob deficiência hídrica, Rodrigues (1988) atribuiu a inibição da taxa fotossintética à resistência mesofílica, uma vez que, na condição imposta, diminuiu-se a evolução de O₂ fotossintético em tiras foliares e as reduções na fotossíntese ocorreram em potenciais hídricos maiores que os encontrados para o aumento da resistência estomática. Contudo, Oliveira (1995) encontrou valores muito próximos da taxa fotossintética nos horários de máxima e mínima condutância

estomática, mesmo sob altos níveis de radiação. Estes fatores sugerem que o comportamento fotossintético não pode ser atribuído a um único fator e sim à interação entre potencial hídrico foliar, condutância estomática e níveis de radiação. A condutância estomática tem sido constantemente avaliada em estudos envolvendo as relações hídricas das plantas submetidas à deficiência hídrica e, de maneira geral, responde a essa condição de estresse. Estudos feitos com cafeeiros sob baixa disponibilidade hídrica têm relatado uma diminuição (DaMatta et al., 2000a,b; DaMatta, 1995, 1991), ou nenhuma alteração (DaMatta et al., 2003; Lima, 2001), na condutância estomática, em resposta a baixos potenciais hídricos das folhas.

Bierhuizen et al. (1969), estudando o efeito da umidade do solo sobre a fotossíntese e a transpiração da *Coffea arabica*, verificaram que a deficiência hídrica causa maior redução na fotossíntese do que na transpiração. Os sintomas ocasionados pela baixa disponibilidade de água no solo mostram-se, inicialmente, pelo murchamento das folhas apicais; em seguida, as folhas dos ramos da porção inferior e as mais adultas e velhas pendem em direção ao solo. Quando em estágio mais avançado, a falta de água leva as folhas a apresentarem certo grau de enrolamento e o desfolhamento ocorre apenas quando a seca é muito intensa (Mazzafera & Carvalho, 1987).

Campostrini (1994) realizou também estudos comparando fotossíntese e produtividade de cinco genótipos de café (*Coffea canephora* Pierre), com baixa, média e alta produtividades, verificando que todos os genótipos apresentaram a mesma eficiência do aparelho fotossintético, demonstrando que a diferença em produtividade não está relacionada à capacidade fotossintética.

O aumento de prolina como um parâmetro indicativo de resistência a déficits hídricos baseia-se nas propriedades desse aminoácido na turgescência celular, proteção de sistemas enzimáticos e proteínas contra a desnaturação. Alguns fenômenos são normalmente associados a esse acúmulo, como estabilização de proteínas, manutenção da atividade enzimática, conservação de compostos nitrogenados ou substratos respiratórios (Rodrigues, 1988). Tendo a prolina alta solubilidade, supõe-se que, durante a ocorrência de um déficit hídrico, a mesma assume importância como fornecedora de nitrogênio e fonte de carbono (Mazzafera & Teixeira, 1989). Existem, entretanto, controvérsias quanto à real relação entre os níveis de prolina e o status hídrico do cafeeiro, uma vez que a maioria das pesquisas foi conduzida em casa de vegetação.

Maestri et al. (1995), trabalhando com plantas jovens dos cafês Catuaí Vermelho, Catuaí Amarelo e Mundo Novo, obtiveram boa correlação entre o potencial hídrico foliar e os níveis de prolina. Resultados semelhantes foram apresentados por DaMatta et al. (1993) e Mazzafera & Teixeira (1989). Contudo, Rena & Maestri (2000) ponderam que esse aminoácido não se relaciona satisfatoriamente com a tolerância à seca em vários cafês de arábica e canephora, e que o potencial hídrico de antemanhã, que independe largamente das condições atmosféricas, parece indicar melhor o estado hídrico do cafeeiro, podendo, portanto, ser utilizado como o índice mais adequado para a estimativa da necessidade de irrigação.

Variações morfológicas e anatômicas em plantas de café têm sido pouco estudadas e informações básicas referentes a aspectos fisiológicos relacionados a tais variações, especialmente em condições de estresse hídrico, podem ser bastante úteis na compreensão dos mecanismos envolvidos na tolerância diferencial existente no gênero *Coffea*, comumente observada em condições de campo. As variações na estrutura das folhas estão relacionadas, em grande parte, com o hábitat, representando uma importante resposta plástica das plantas às condições ambientais, especialmente a disponibilidade hídrica (Dias et al., 2005b).

As respostas do tecido da planta ao estresse hídrico dependem das propriedades fisiológicas dos componentes celulares e das características anatômicas que regulam a transmissão do efeito do estresse hídrico para as células. A diferença nas respostas ao estresse hídrico entre regiões maduras e de crescimento dos tecidos parece ser devido a diferenças anatômicas (Matsuda & Rayan, 1990).

As alterações anatômicas podem ocorrer em plantas sob déficit hídrico, visando a proteger e adaptar as espécies a este estresse. Uma suberização pronunciada da endoderme e exoderme pode ser observada em plantas sob déficit hídrico, protegendo contra dessecação e morte de células corticais (Sharp & Davies, 1985). Segundo Baruch & Mérida (1995), estas alterações são, provavelmente, devido a deposições de ligninas ou suberinas encontradas na exoderme, endoderme e camadas de células vizinhas ao córtex e a medula das raízes.

Os tecidos expostos ao estresse hídrico têm, geralmente, mostrado características de processo de lignificação, como redução no tamanho celular, aumento no tecido vascular e aumento na espessura da parede celular (Levitt, 1980; Pitman et al., 1983). A ampliação do tamanho celular é esperada ser mais sensível do que a divisão celular (Levitt, 1980).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização e delineamento experimental

O experimento foi conduzido em viveiro coberto com sombrite 50% e plástico translúcido na área experimental do Setor de Fisiologia Vegetal, Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras, MG. Foram utilizadas mudas de cafeeiros Siriema e Catuaí Amarelo IAC 74 com seis meses de idade, com seis a oito pares de folhas, produzidas em sacolas plásticas com dimensões de 15 x 8 cm, provenientes de viveiro da Fundação Procafé, na cidade de Varginha, MG.

Antes da indução dos tratamentos, as mudas foram irrigadas diariamente, mantendo-se o nível de água no solo próximo à capacidade de campo por quatro semanas. Quando os tratamentos foram estabelecidos, um grupo de mudas dos dois cafés (220 mudas) continuou sendo irrigado, enquanto outro grupo de cada café foi submetido à suspensão de rega (472 mudas). Do grupo não irrigado, a cada dois dias, quatorze mudas foram novamente irrigadas

à capacidade de campo e avaliadas 24 e 48 horas após a reirrigação, em relação ao potencial hídrico de antemanhã e transpiração.

O período experimental foi de vinte dias, sendo cada tratamento composto de quatro repetições, dispostas em um delineamento inteiramente casualizado. A caracterização das condições de umidade relativa do ar e temperatura dentro do viveiro, durante o período experimental, foi registrada com o auxílio de um termoigrógrafo (FUESS). Até o 14º dia, foram observadas umidades relativas mínimas em torno de 60%, após este dia, houve uma redução desta para 40%. A amplitude térmica observada durante todo o experimento, foi

de 20° C e a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos entre 200 e 500 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Figura 1).

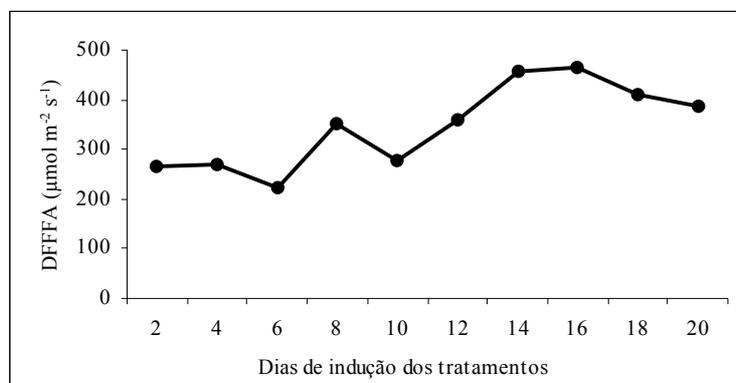


FIGURA 1. Densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos avaliados entre 10:00 e 11:00 horas, durante o período de indução dos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2005.

3.2 Características avaliadas

3.2.1 Características hídricas

A avaliação do potencial hídrico de antemanhã (ψ_w máximo) foi realizada com o auxílio de uma câmara de pressão (Soil moisture – Modelo 3005), entre 5:00 e 6:00 h, em folhas do quarto par totalmente expandidas, presentes no ramo ortotrópico em quatro mudas por tratamento, até o 14º dia do

experimento. As mudas reirrigadas foram avaliadas 24 h e 48 h após a reirrigação, com o objetivo de avaliar a capacidade de recuperação.

A transpiração (E), condutância estomática (gs), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), foram avaliadas entre 10:00 e 11:00 horas, no dia da implantação do experimento (0, zero) e após 2, 4, 6, 10 e 14 dias, com o auxílio de um porômetro (Steady State Porometer, Licor.1600M), utilizando a primeira folha do par totalmente expandido mais próximo do ápice do ramo ortotrópico, em quatro mudas por tratamento.

3.2.2 Características bioquímicas

Aos 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 e 20 dias após indução dos tratamentos foram coletadas folhas para as análises bioquímicas, com exceção da prolina que foi coletado até o 14º dia. Para tanto, as folhas foram lavadas em água corrente e água destilada, acondicionadas em sacos de papel alumínio que foram submersos em nitrogênio líquido com a finalidade da paralisação imediata

do metabolismo nas folhas. Após este processo, as amostras foram colocadas para secar em estufa de circulação de ar forçada, à temperatura de 70°C até atingir peso constante. Posteriormente, as folhas foram trituradas sem as nervuras centrais até a obtenção de um pó fino, juntamente com polivinilpirrolidona (PVPP) a 10% (p/v), em cadinho com auxílio de nitrogênio líquido e depois armazenadas a -20°C. Amostras de 0,1g foram utilizadas para análise de açúcares, amido e prolina.

3.2.2.1 Extração para quantificação de açúcares redutores e solúveis totais, sacarose e amido

As amostras da matéria seca foliar foram adicionadas a 4 mL de água destilada e após a homogeneização, levadas ao banho-maria a 40°C por 20 minutos. Depois o extrato foi centrifugado a 11.000 x g por 20 minutos, 4°C. Em seguida, os sobrenadantes foram coletados em frascos previamente identificados. Os pellets foram ressuspensos em 4 mL de água destilada por mais duas vezes e centrifugado nas mesmas condições anteriores. Os sobrenadantes resultantes foram coletados, adicionados aos primeiros e armazenados a -20°C para posteriores quantificações de açúcares redutores, solúveis totais e sacarose.

Os pellets foram ressuspensos em 8 mL de tampão acetato de potássio 200 mM pH 4,8 e levados ao banho-maria a 100°C por 5 minutos. Em seguida, foram acrescentados 2 mL do preparado da enzima amiloglicosidade totalizando 12,6 unidades da enzima em cada amostra e, novamente, os pellets levados ao banho-maria, a 40°C. Após duas horas, os homogenatos foram submetidos à

centrifugação de 11.000 x g por 20 minutos, a 4°C, e os sobrenadantes coletados tiveram os volumes completados para 10 mL com água destilada e, em seguida, congelados para posterior quantificação de amido.

3.2.2.2 Quantificação de açúcares redutores

A quantificação dos açúcares redutores seguiu o protocolo descrito por Miller (1959).

3.2.2.3 Quantificação de açúcares solúveis totais e de amido

Para a quantificação dos açúcares solúveis totais e de amido, foi utilizado o método de Yemm & Coccking (1954).

3.2.2.4 Quantificação de sacarose

As concentrações de sacarose em cada amostra foram determinadas pela diferença entre os teores de açúcares solúveis totais e açúcares redutores, multiplicada pelo fator 0,95, segundo (Martim, 2003).

3.2.2.5 Extração para a quantificação do aminoácido prolina

As amostras da matéria seca foliar foram maceradas em cadinho, juntamente com 10 mL de ácido sulfosalicílico e posteriormente filtradas em

papel de filtro. Os filtrados foram coletados e armazenados a -20°C para posteriores quantificações.

3.2.2.6 Quantificação do aminoácido prolina

Para a quantificação do aminoácido prolina, foi utilizado o protocolo descrito por Bates (1973).

3.2.3 Características anatômicas

A estrutura anatômica das folhas foi estudada ao décimo dia de suspensão de rega. O estudo foi realizado utilizando-se cinco folhas totalmente expandidas, retiradas do terço superior de cinco plantas de cada tratamento, seguindo a mesma orientação cardinal. Após a coleta, as folhas foram fixadas em álcool etílico 70% e armazenadas em vidros para posteriores análises. Os cortes transversais foram realizados na região mediana da folha, por meio de secções obtidas com o auxílio do micrótomo manual. Em seguida, as secções foram clarificadas em solução a 50% de hipoclorito de sódio, foram lavadas em água destilada e submetidas ao processo de coloração com a mistura de azul de astra-safranina, seguindo-se os métodos descritos por Kraus & Arduin (1997), tendo as lâminas sido montadas em glicerina a 50%.

As determinações de espessura foram feitas a partir de três medições das espessuras das epidermes adaxial e abaxial, dos parênquimas paliçádico e esponjoso, portanto, a amostra foi constituída de 15 medições para cada

tratamento. A espessura do limbo foliar foi obtida a partir da soma das epidermes com os parênquimas.

Para as avaliações relativas à caracterização dos estômatos (número médio por mm², diâmetro polar e equatorial), foram feitos cortes paradérmicos manuais, utilizando-se uma lâmina de barbear. Os cortes foram realizados na região mediana das folhas na epiderme da face abaxial, colocados sobre uma lâmina contendo safranina e água glicerizada. A contagem do número de células epidérmicas, estômatos e medições do diâmetro polar e equatorial foi realizada com o auxílio de câmera clara, em microscópio OLYMPUS CCB, segundo técnica de Labouriau et al. (1961). Foram observados quatro campos da região mediana de cada folha, totalizando 20 campos por tratamento (cinco folhas por

tratamento). O índice estomático (Si) foi calculado com a utilização da seguinte fórmula: $Si (\%) = [Sn / (Sn + Em)] \times 100$, sendo Sn o número de estômatos e Em o número de células da epiderme.

As fotomicrografias foram realizadas utilizando-se um fotomicroscópio Olympus BX-60, existente no Laboratório de Citologia do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características hídricas

O potencial hídrico das plantas nos tratamentos irrigados apresentou, até o décimo quarto dia, uma regularidade entre os cafês ‘Catuaí’ e ‘Siriema’ (Figura 2), com valores próximos a -0,5 MPa. A partir do sexto dia, houve um comportamento distinto entre as plantas dos tratamentos irrigados e não irrigados, tendo estas últimas sofrido reduções significativas, principalmente após o oitavo dia de suspensão de rega. Para os tratamentos não irrigados também houve uma similaridade de comportamento entre os cafês, visto que ambas atingiram o limite mínimo adotado no experimento de -3,5 MPa ao décimo segundo dia. DaMatta et al. (2000), estudando o uso da água e a tolerância à seca em *Coffea canephora*, observaram que, nos genótipos sensíveis, o Ψ_w foi consideravelmente menor que nos tolerantes à seca, indicando menor capacidade de recuperação do status hídrico foliar ao longo do

período da deficiência hídrica. De acordo com Rena & Maestri (2000), em cafeeiros no campo, o potencial hídrico foliar de antemanhã raramente cai a valores menores que -1,5 MPa, pois sob condições naturais, o DÉFICIT hídrico é estabelecido lenta e gradualmente, permitindo às plantas ajustarem-se a essa condição, minimizando os impactos de tensões ambientais.

Sob deficiência hídrica severa (murcha visível nas primeiras horas da manhã, $\Psi_w = -2,7$ MPa), contudo, apenas eventos não-estomáticos responderam pelas reduções substanciais observadas na fotossíntese (DaMatta et al., 1997). Em outro estudo, DaMatta et al. (2000b) não observaram quaisquer reduções significativas na fotossíntese líquida de um clone de 'Canéfora' em campo, medida por volta das 09:00 h, mesmo quando Ψ_w era de $-2,66$ MPa. Provavelmente, limitações não estomáticas da fotossíntese são determinadas, em larga escala, pelo comprometimento da regeneração da ribulose-1,5-bisfosfato, o acceptor primário do CO_2 nas plantas C_3 , e por um decréscimo na atividade da enzima de carboxilação, a rubisco. Sob deficiência hídrica rapidamente imposta ($\Psi_w = -3,0$ Mpa), verificou-se, em uma cultivar de Arábica, declínio de cerca de 60% na atividade inicial, mas não na concentração daquela enzima (Kanechi et al., 1996).

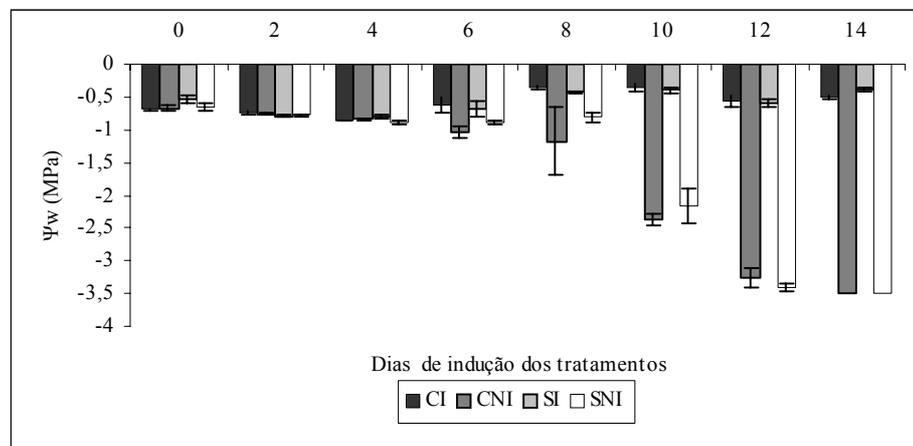


FIGURA 2. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) em mudas de cafeeiro Catuaí irrigado (CI), Catuaí não irrigado (CNI), Siriema irrigado (SI) e Siriema não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Os gráficos das figuras 3 e 4 mostram a recuperação do potencial hídrico das mudas de ‘Catuaí’ e ‘Siriema’, respectivamente, com 24 e 48 horas após a reirrigação, em relação ao tratamento irrigado e em contraste ao não irrigado. Pode-se observar que a recuperação do potencial hídrico em ambos os cafés aconteceu somente até o sexto dia, quando as mudas reirrigadas

apresentaram, com 24 e 48 horas, valores semelhantes ao tratamento irrigado. A partir do oitavo dia, as mudas reirrigadas recuperaram parcialmente o estado hídrico, retornando a valores cada vez menores de potencial hídrico com o prolongamento do estresse. Martim (2003), estudando a recuperação do potencial hídrico foliar de mudas da cv. Topázio nos tratamentos submetidos à suspensão de rega, após 24 horas da reirrigação, constatou que no décimo dia houve uma recuperação de -2,1 MPa para -1,6 MPa.

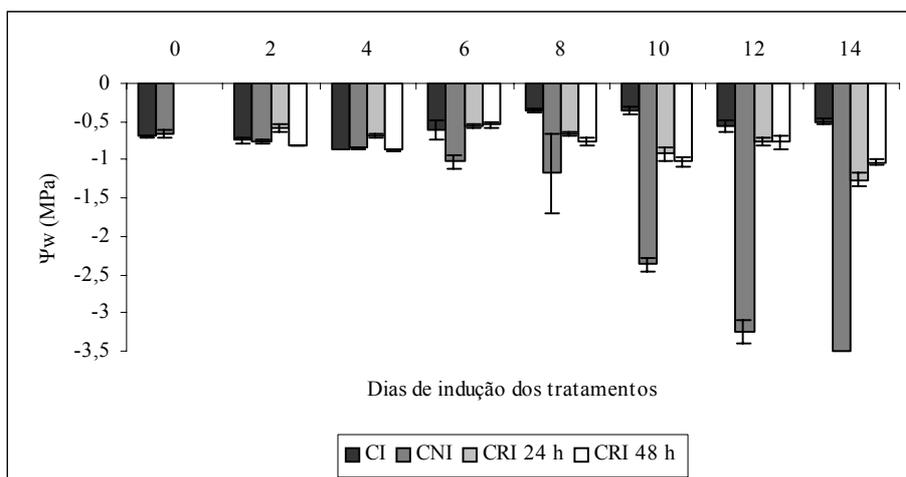


FIGURA 3. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) em mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Catuaí’ reirrigado com 24 horas (CRI 24 h) e ‘Catuaí’ reirrigado com 48 horas (CRI 48 h). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

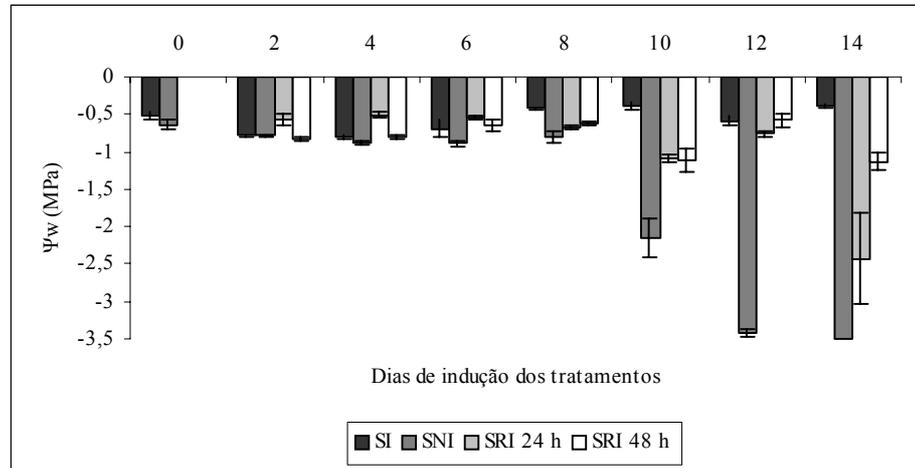


FIGURA 4. Potencial hídrico foliar (Ψ_w) em mudas de cafeeiro ‘Siriema’ irrigado (SI), ‘Siriema’ não irrigado (SNI), ‘Siriema’ reirrigado com 24 horas (SRI 24 h) e ‘Siriema’ reirrigado com 48 horas (SRI 48 h). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Em condições de baixos potenciais hídricos foliares, o fechamento dos estômatos parece ser uma das primeiras estratégias utilizadas pelas plantas do cafeeiro para minimizar as perdas de água ocorridas com a transpiração (Barros et al., 1997). Estudos feitos com cafeeiros sob baixa disponibilidade hídrica têm relatado uma diminuição na condutância estomática em resposta a baixos potenciais hídricos das folhas (DaMatta et al., 2000, DaMatta, 1995, 1991). No presente experimento, ambos os cafés mantiveram os estômatos abertos por um período relativamente longo de suspensão de irrigação (Figura 5). Para o ‘Siriema’, diferenças de condutância estomática entre as plantas irrigadas e não irrigadas surgiram a partir do décimo dia, quando o potencial hídrico estava atingindo -2,5 MPa. Estas diferenças foram anuladas 24 e 48 horas após a

reirrigação dessas plantas, quando observou-se a plena recuperação nos valores da condutância tanto ao décimo como ao 14º dia (Figura 6). Queiroz et al. (2002), estudando aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação, também verificaram uma recuperação significativa da condutância estomática.

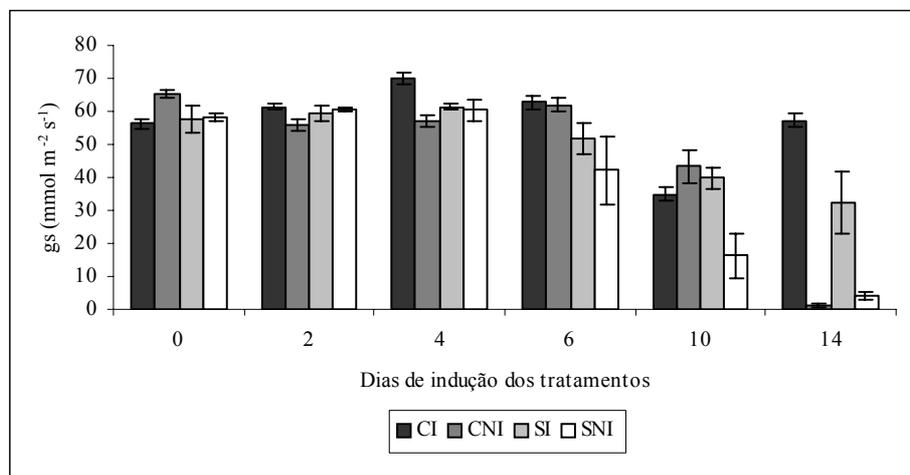


FIGURA 5. Condutância estomática (gs) em mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Para a cv. Catuaí, a diferença entre o tratamento irrigado e o não irrigado só foi observada de forma mais evidente ao 14º dia (Figura 5). Com a reirrigação, observou-se uma momentânea recuperação da condutância estomática após 24 horas, já que os estômatos não permaneceram abertos após 48 horas, comprovando que, ao 14º dia, quando o potencial hídrico chegou a -3,5

Mpa, a cv. Catuaí perdeu a coordenação do movimento estomático, não conseguindo recuperar-se, diferentemente do ‘Siriema’ (Figura 7). Esses dados evidenciam que sob déficit hídrico, a ‘Catuaí’ em relação ao ‘Siriema’, fecha os estômatos tardiamente, demonstrando, não possuir uma estratégia eficaz de resposta, uma vez que, visivelmente, as plantas estavam mais murchas. DaMatta et al. (1997a) observaram, em *C. arabica* cv. Catuaí Vermelho, que a redução na fotossíntese, nas fases iniciais da seca, é governada, principalmente, por fatores não-estomáticos, enquanto em *C. canephora* cv. Conilon fatores estomáticos estariam associados com a redução do seu desempenho fotossintético.

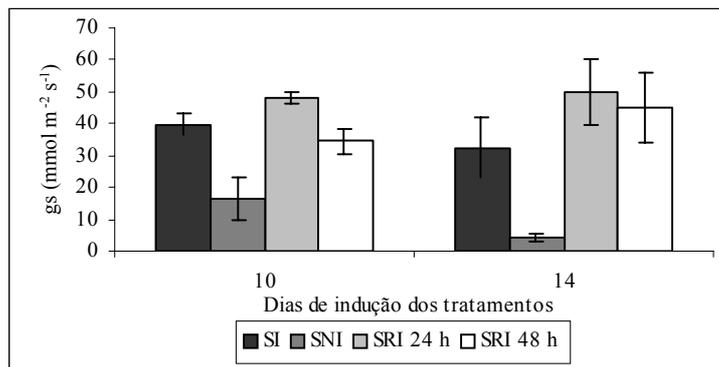


FIGURA 6. Condutância estomática (gs) em mudas de cafeeiro ‘Siriema’ irrigado (SI), ‘Siriema’ não irrigado (SNI), ‘Siriema’ reirrigado com 24 horas (SRI 24 h) e Siriema reirrigado com 48 horas (SRI 48 h). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

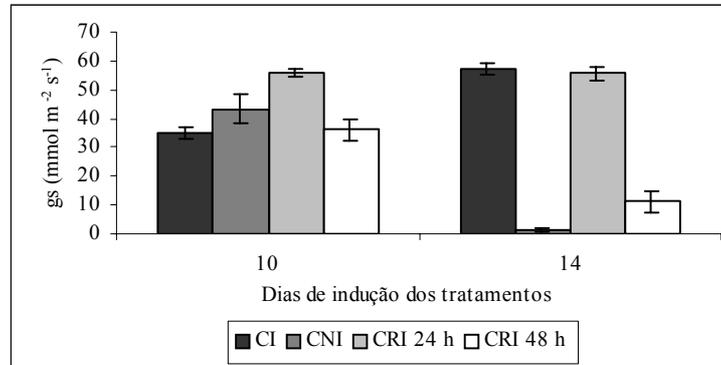


FIGURA 7. Condutância estomática (g_s) em mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Catuaí’ reirrigado com 24 horas (CRI 24 h) e ‘Catuaí’ reirrigado com 48 horas (CRI 48 h). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Em relação à transpiração, de maneira geral, para ambos os cafês, diferenças entre os tratamentos irrigados e não irrigados somente foram observadas após o quarto dia de suspensão de rega (Figura 8). É interessante destacar que houve uma similaridade de comportamento entre as características analisadas de condutância estomática (Figura 5) e de transpiração (Figura 8), observando-se uma relação direta entre as duas. Dias et al. (2005a), estudando o efeito do déficit hídrico moderado na cv. Catucaí e em uma outra progênie de café ‘Siriema’, não estudada nesta dissertação, não observaram diferenças significativas para condutância estomática e transpiração, entre os cafês, embora o déficit hídrico tenha causado decréscimos nos valores desses parâmetros.

À semelhança do que aconteceu com o comportamento da condutância estomática após a reirrigação das plantas de ‘Catuaí’ (Figura 7), observou-se também apenas a momentânea recuperação na atividade transpiratória após 24 horas, vindo a cair com 48 horas, em função da abertura e do fechamento

estomático, respectivamente (Figura 9). Já para as mudas de ‘Siriema’, observou-se uma plena recuperação da transpiração até as 48 horas após a eliminação do déficit hídrico (Figura 10). Esses resultados mostram que, ao final do experimento, houve danos irreversíveis no aparato estomático das mudas de ‘Catuaí’, ao contrário do que aconteceu com as mudas de ‘Siriema’ que mantiveram a atividade estomática funcional.

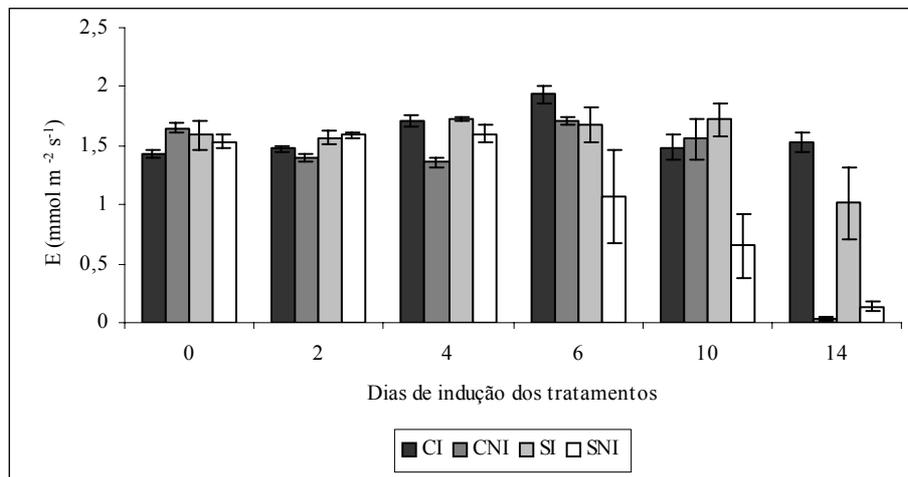


FIGURA 8. Transpiração (E) em mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

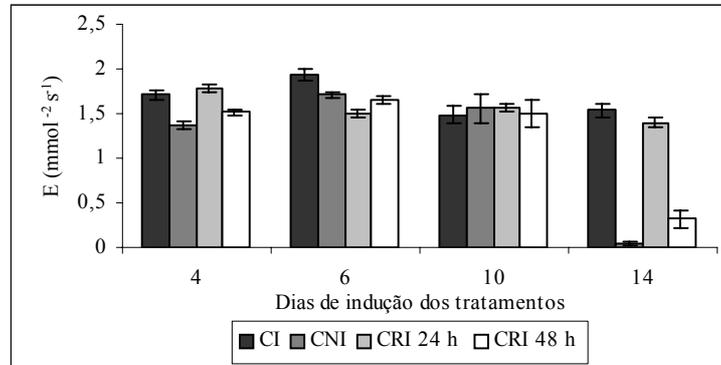


FIGURA 9. Transpiração (E) em mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Catuaí’ reirrigado com 24 horas (CRI 24 h) e ‘Catuaí’ reirrigado com 48 horas (CRI 48 h). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

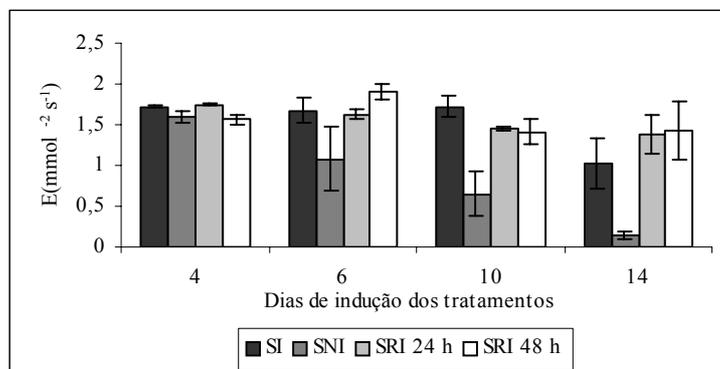


FIGURA 10. Transpiração (E) em mudas de cafeeiro ‘Siriema’ irrigado (SI), ‘Siriema’ não irrigado (SNI), ‘Siriema’ reirrigado com 24 horas (SRI 24 h) e ‘Siriema’ reirrigado com 48 horas (SRI 48 h). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

4.2 Características bioquímicas

Em relação aos carboidratos, variações no teores de amido (Figura 11) mostraram-se mais responsivas, em relação aos demais açúcares analisados, à supressão da água, uma vez que decréscimos na sua concentração ocorreram aos quatro e seis dias após a supressão da água, para as mudas de ‘Siriema’ e ‘Catuai’, respectivamente. Por outro lado, os teores de açúcares solúveis totais (Figura 12) e de redutores (Figura 13) permaneceram inalterados até o quarto de dia de suspensão da rega. Diferenças significativas entre os tratamentos irrigados e não irrigados começaram a aparecer a partir do sexto e oitavo dias para os cafés ‘Siriema’ e ‘Catuai’, respectivamente. De acordo com Pinheiro et al. (2001), quando as plantas são expostas a condições de deficiência hídrica, normalmente apresentam diminuição nos teores de amido e aumento dos teores de açúcares solúveis totais, principalmente sacarose, evidenciando, assim, uma alteração no metabolismo dos carboidrato.

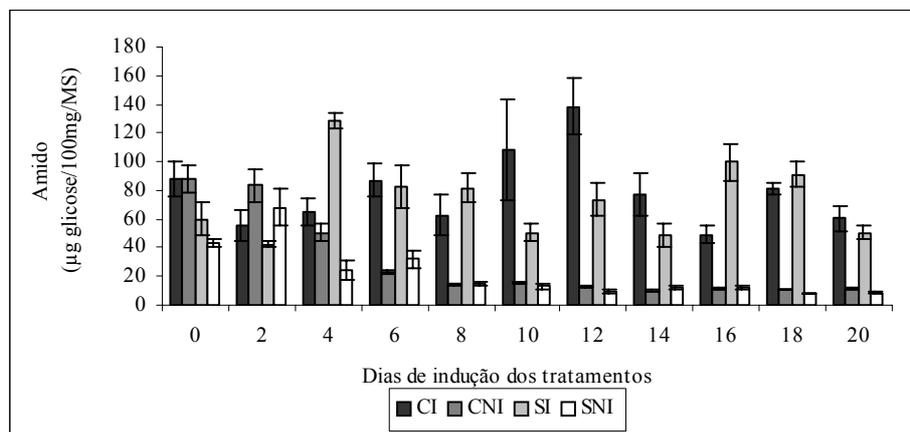


FIGURA 11. Teor de amido em mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições.

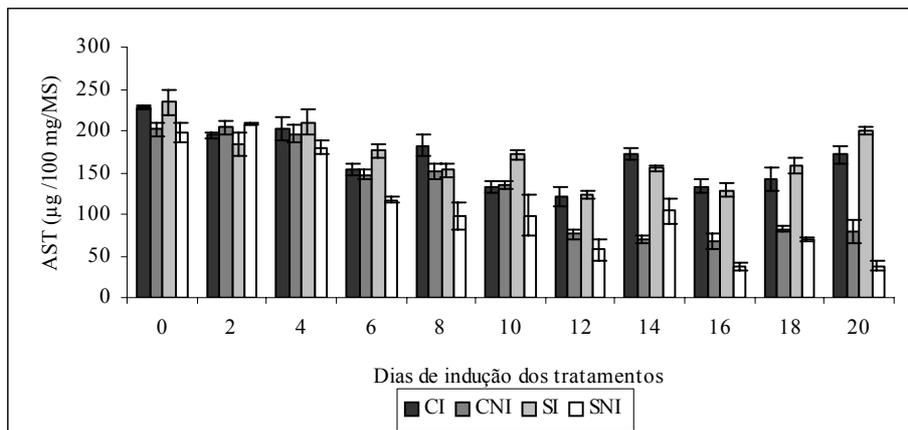


FIGURA 12. Teor de açúcares solúveis totais (AST) em mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições.

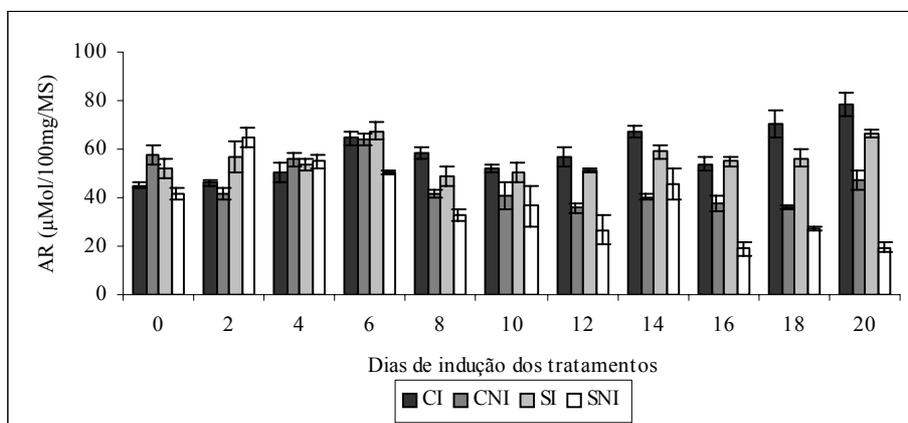


FIGURA 13. Teor de açúcares redutores (AR) em mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições. UFLA, Lavras, MG, 2005.

Observando-se os teores de sacarose nas mudas (Figura 14), verificou-se que diferenças entre os tratamentos irrigados e não irrigados apareceram ao quarto dia para as mudas de ‘Siriema’ e ao 12º dia para as de ‘Catuaí’. Praxedes (2003), avaliando os efeitos do déficit hídrico no metabolismo dos carboidratos de quatro clones de *Coffea canephora* Pierre cv. Conilon, observou que quando o potencial hídrico foliar na antemanhã (Ψ_w) decresceu para valores em torno de $-3,0$ MPa, estresse hídrico severo, houve redução na fotossíntese líquida, provocada, principalmente, pelo fechamento dos estômatos e um aumento na concentração foliar de sacarose nos clones tolerantes à seca (120 e 14).

Nas mudas de ‘Siriema’ a queda nos teores de açúcares solúveis totais e de redutores coincidiu no tempo, com os decréscimos nos valores de potencial hídrico foliar (Figura 2), de condutância estomática (Figura 5) e da transpiração (Figura 8) que ocorreram ao sexto dia. Para esse material percebeu-se uma resposta coordenada entre as quatro características estudadas. Esses resultados sugerem um controle estomático associado à regulação do metabolismo de carboidratos, aqui caracterizado pela diminuição nos teores de amido e de sacarose, e de açúcares solúveis totais e redutores ao quarto e sexto dias de estresse hídrico, passando a utilizar mais intensamente os açúcares em resposta à queda no potencial hídrico. Plantas C3 sob deficiência hídrica acumulam menos amido e mais sacarose que plantas em condições hídricas normais, o que pode ser atribuído a uma síntese reduzida de amido ou à sua degradação (Praxedes, 2003).

Já para as mudas de ‘Catuaí’, a regularidade desse comportamento não aconteceu ao observar que, com a progressão da suspensão hídrica, inicialmente, ocorreram decréscimos na transpiração (quarto dia), seguidos por queda no potencial hídrico e diminuição no teor de amido (sexto dia), de açúcares solúveis totais e redutores (oitavo dia) e, finalmente, sacarose (12º dia). Algumas cultivares de café realizam ajuste osmótico sob déficit hídrico (DaMatta et al.,

1993), o que concorda com o acúmulo de açúcares, observado por DaMatta et al. (1997a). Entretanto, não está claro se existe uma relação entre a manutenção das taxas de fotossíntese e o ajuste osmótico, nessas condições.

Em função das variações nos níveis de amido e sacarose, a razão amido:sacarose apresentou uma queda significativa a partir do sexto dia após suspensão de rega para a cv. Catuaí, enquanto que para o ‘Siriema’ essa queda ocorreu antecipadamente ao quarto dia. Esses resultados mostram uma redução mais pronunciada nos níveis de amido em detrimento dos de sacarose, principalmente para a ‘Catuaí’, uma vez que a utilização da sacarose somente passou a ocorrer nessa cultivar a partir do 12º dia. Desse modo, parece ocorrer uma exportação desse fotoassimilado das folhas de ‘Siriema’, enquanto que, para a ‘Catuaí’ houve um acúmulo. Em relação à síntese de carboidratos, pode-se inferir que o ‘Siriema’ demonstra produzi-los mais que a ‘Catuaí’, já que a força dreno é maior. Ronchi et al. (2005a), estudando os efeitos de taxas de imposição e severidade do déficit hídrico sobre o metabolismo de carboidratos em *Coffea canephora*, verificaram que houve uma redução na razão amido:sacarose nas plantas estressadas.

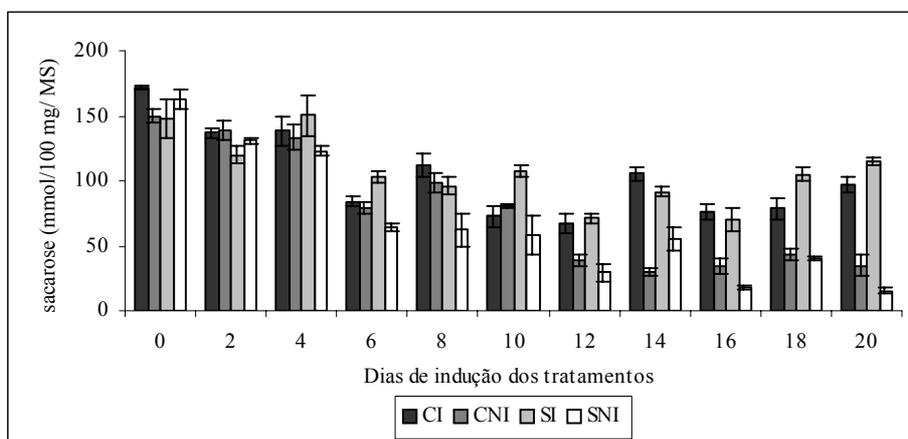


FIGURA 14. Teor de sacarose em mudas de cafeeiro 'Catuai' irrigado (CI), 'Catuai' não irrigado (CNI), 'Siriema' irrigado (SI) e 'Siriema' não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições.

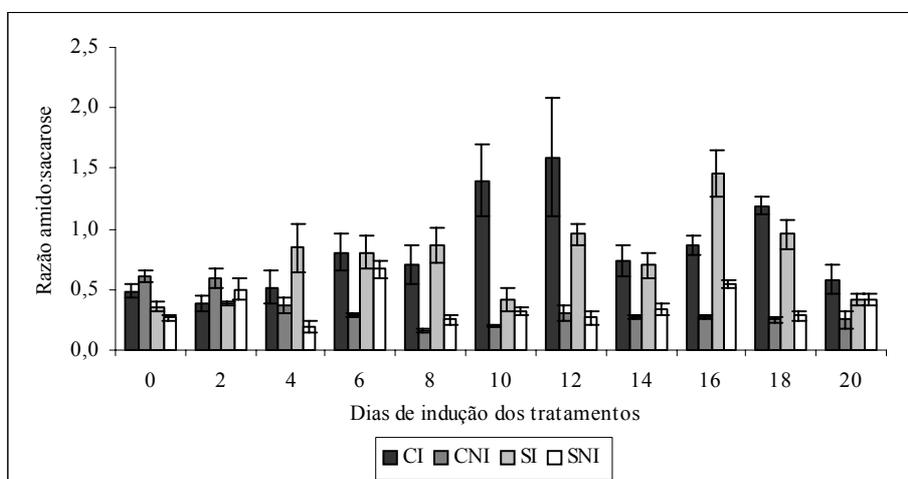


FIGURA 15. Razão de amido:sacarose em mudas de cafeeiro 'Catuai' irrigado (CI), 'Catuai' não irrigado (CNI), 'Siriema' irrigado (SI) e 'Siriema' não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições.

Em relação ao aminoácido prolina, a suspensão da irrigação foi suficiente para causar um aumento no seu teor, nas folhas de mudas submetidas aos tratamentos não irrigados, somente a partir do décimo dia para ambos os cafés (Figura 16). Este comportamento está de acordo com os valores de potencial hídrico (Figura 2) quando, ao décimo dia após suspensão da rega, os valores caíram de $-1,3$ MPa para $-2,5$ Mpa. Fica clara, assim, a função da prolina em aumentar o potencial osmótico com o objetivo de manter a turgescência foliar, mesmo em potenciais hídricos muito baixos. Não foram observado diferenças significativas entre os cafés. Segundo Rodrigues (1988), o teor de prolina nas folhas, não diferiu entre os cafeeiros estudados durante a desidratação.

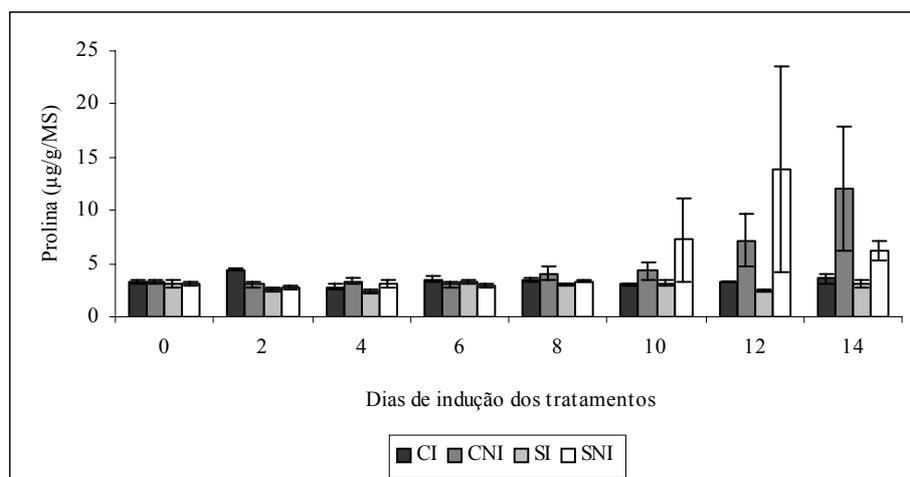


FIGURA 16. Teor de prolina em mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI). As barras representam o erro padrão da média de quatro repetições.

4.3 Características anatômicas

A espessura das epidermes adaxial e abaxial não variou entre os cafés irrigados (Figura 17). Não houve diferenças também entre os tratamentos não irrigados e entre plantas irrigadas e não irrigadas para o mesmo café. Justo et al. (2005), estudando *Xylopi* *brasiliensis*, concluíram que as características anatômicas das folhas apresentaram plasticidade de resposta em função do estágio de desenvolvimento da planta e das condições ambientais. Ramiro et al. (2004), estudando a caracterização de folhas de cafeeiros resistentes e suscetíveis ao bicho-mineiro, cujos cafeeiros híbridos de *C. racemosa* pertenciam a uma progênie de ‘Siriema’, observaram que quando comparados com cafeeiros arábica, não houve diferenças significativas para os valores das epidermes adaxial e abaxial.

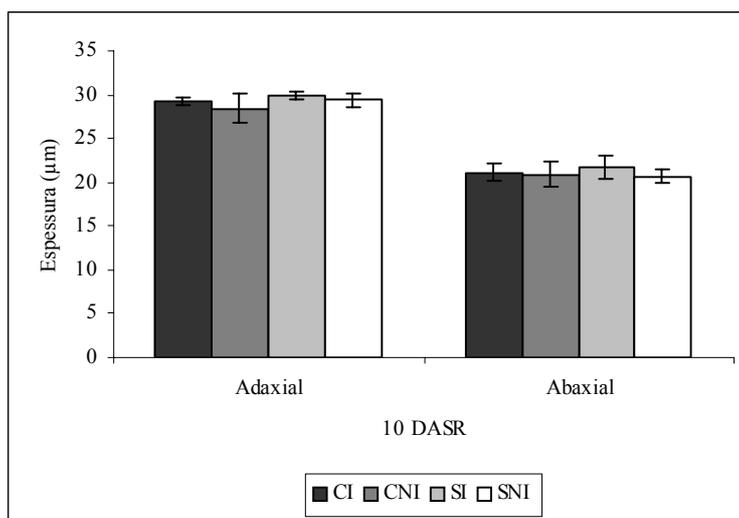


FIGURA 17. Espessura (μm) do tecido epidérmico (adaxial e abaxial) em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão média de cinco repetições.

Foi observado para o parênquima esponjoso, diferença significativa entre os cafés em relação ao tratamento irrigado, o ‘Siriema’ apresentou maior espessura (Figura 18). Em relação ao parênquima paliçádico, observou-se uma diminuição de sua espessura na ‘Catuai’ não irrigada em relação à irrigada. Não houve diferença entre os cafés. A espessura do limbo foliar do ‘Siriema’ foi mais espessa que a da Catuai, independentemente do tratamento (Figura 19).

Assim como não foram observadas diferenças significativas entre os cafés, no estudo da espessura do parênquima paliçádico, por sua vez, a razão parênquima paliçádico/limbo foliar também não apresentou diferenças significativas em nenhuma situação estudada (Figura 20). Segundo Yamashita et al. (2002), pequenas variações na espessura da folha resultam em significativas modificações na fotossíntese em algumas espécies, enquanto outras apresentam grande plasticidade na espessura foliar com pouca variação na capacidade fotossintética. Segundo Ramiro et al. (2004), entre a progênie de ‘Siriema’ e cafeeiros arábica, não houve diferenças significativas para os valores de parênquima esponjoso, espessura total da folha e porcentagem do mesofilo representada pelo parênquima paliçádico.

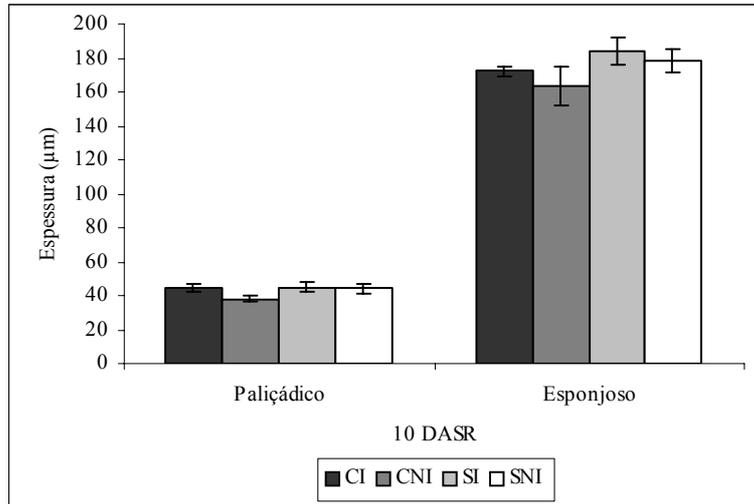


FIGURA 18. Espessura (μm) dos parênquimas paliçádico e esponjoso em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

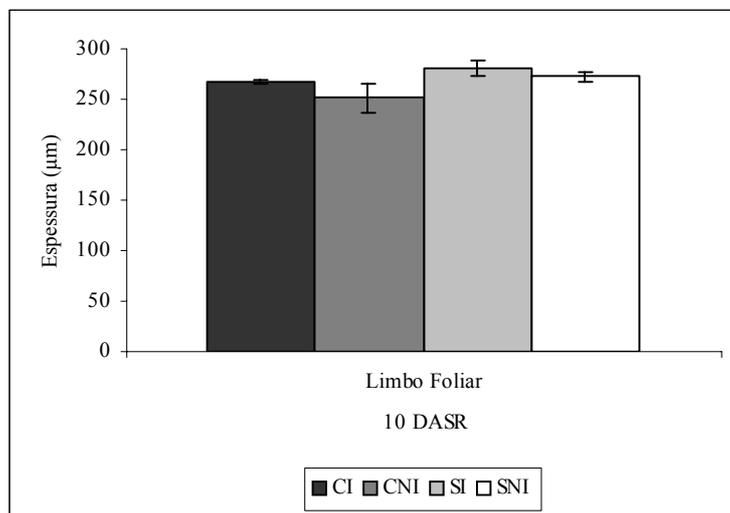


FIGURA 19. Espessura (μm) do limbo foliar em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e

‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

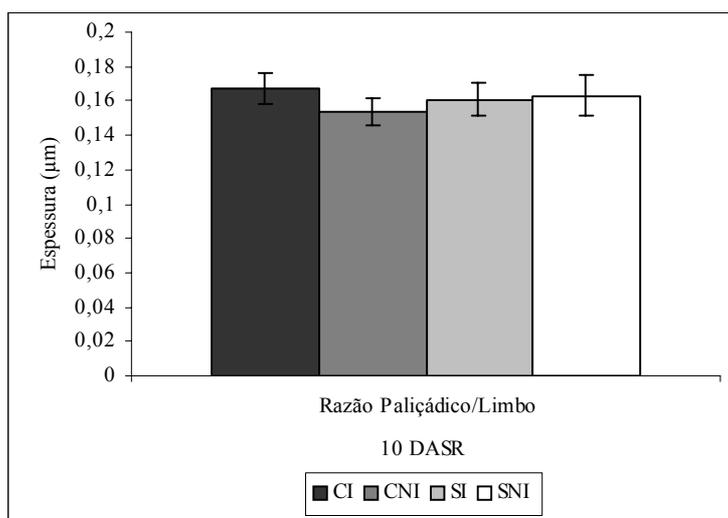


FIGURA 20. Espessura (μm) da razão parênquima paliádico:limbo foliar em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuaí’ irrigado (CI), ‘Catuaí’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

Na Figura 21, nota-se que, aos dez dias de suspensão de rega, o ‘Siriema’ não irrigado (B) apresentou menor quantidade de espaços intercelulares, células mais justapostas e cutícula bastante espessa em relação à ‘Catuaí’ não irrigada (A). Quando comparados com os tratamentos irrigados (C e D), foi possível verificar que houveram modificações para os dois cafés, no sentido de aumentar os espaços intercelulares nos tratamentos não irrigados. Entretanto o ‘Siriema’ apresentou um aumento visivelmente menor, indicando

uma melhor adaptação ao déficit hídrico. Em plantas com alta capacidade fotossintética, a pouca ocorrência de espaços intercelulares no mesofilo, representa uma vantagem adaptativa (Fahn, 1977).

Segundo Ramiro et al. (2004), entre cafeeiros *C. racemosa* (genitora do ‘Siriema’) e arábica, observaram que a cutícula adaxial, as epidermes adaxial e abaxial foram significativamente mais espessas em *C. racemosa*, sugerindo que estas características possuem importante componente genética, podendo ser consideradas como próprias dessa espécie.

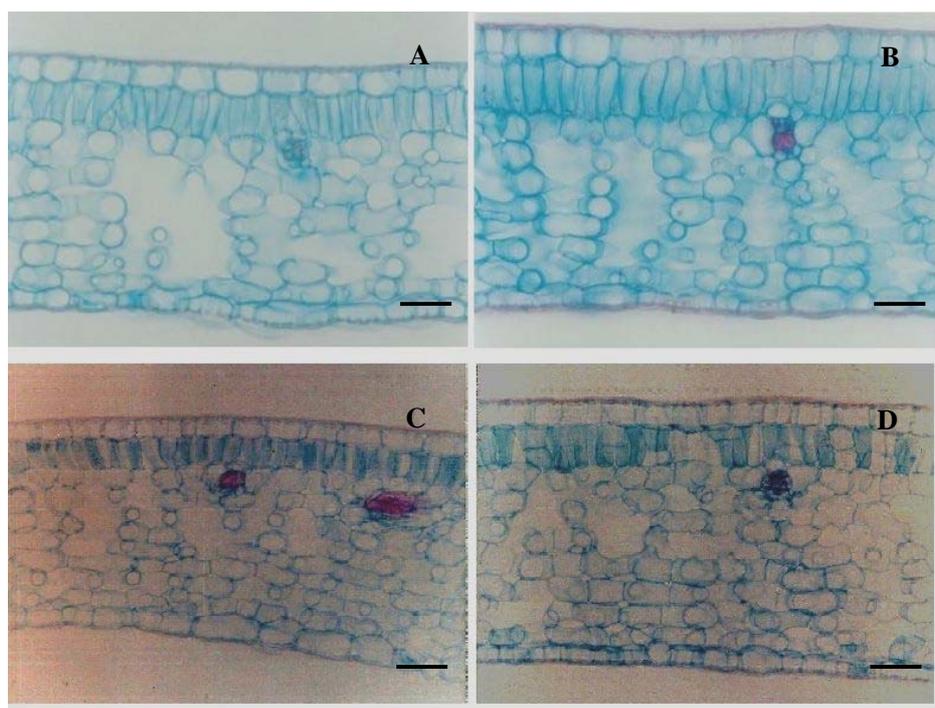


FIGURA 21. Fotomicrografias de secções transversais em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ não irrigado (A), ‘Siriema’ não irrigado (B), ‘Catuai’ irrigado (C) e ‘Siriema’ irrigado (D), dez dias após suspensão da rega (DASR). Barra = 50 μm .

Para o diâmetro polar dos estômatos houve diferenças entre os tratamentos irrigados e não irrigados para cada café, e entre os cafés para os tratamentos não irrigados o ‘Siriema’ apresentou maior diâmetro polar (Figura 22). O aumento do diâmetro polar no tratamento não irrigado para o ‘Siriema’ diferentemente da ‘Catuai’, mostrou modificações em busca de uma maior funcionalidade dos estômatos (Figura 24), que adquiriram um formato elipsóide, na condição de restrição hídrica. Em relação ao diâmetro equatorial houve diferenças entre tratamentos irrigado e não irrigado de cada café, tendo os maiores valores sido encontrados nos tratamentos irrigados. Entre os cafés, para todos os tratamentos o ‘Siriema’ apresentou maior diâmetro equatorial (Figura 23). A variação de resposta do diâmetro equatorial dos estômatos indica que essa característica seja menos definida do que o diâmetro polar, devido à variação da turgidez celular, a qual é determinante para os movimentos de abertura e fechamento estomático (Taiz & Zeiger 2004).

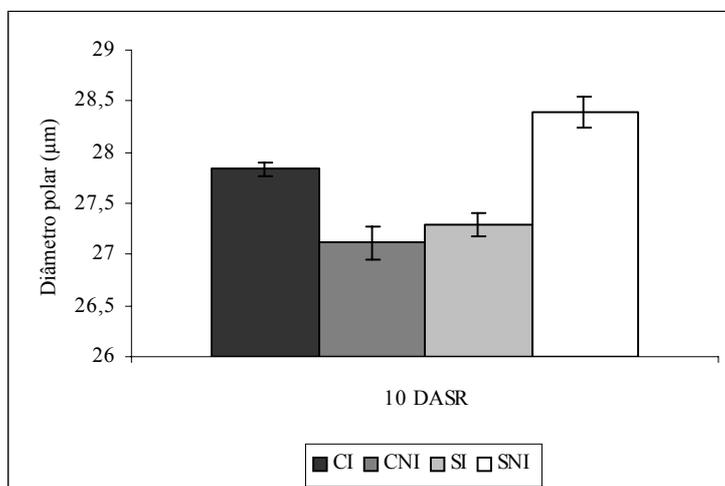


FIGURA 22. Diâmetro Polar (μm) em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI) dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

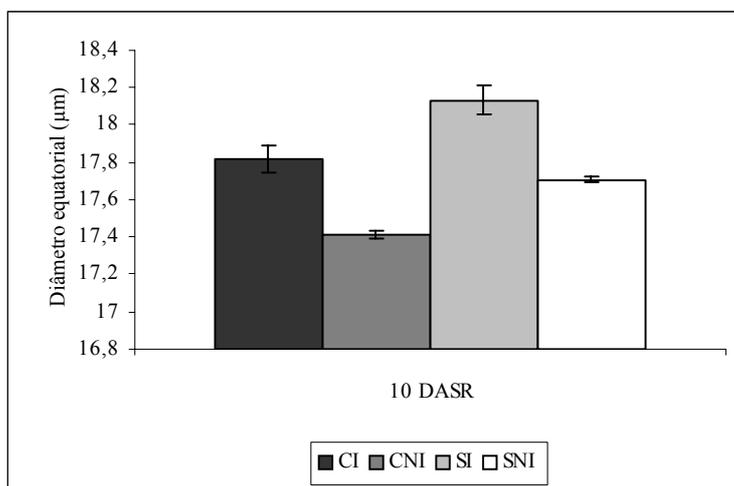


FIGURA 23. Diâmetro Equatorial (μm) em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

Para a relação diâmetro polar e equatorial, houve diferença entre os tratamentos irrigado e não irrigado para o ‘Siriema’ (Figura 24), este apresentou maior relação DP/DE, para o tratamento não irrigado. Segundo Rocha (2005), a relação entre os DP e DE fornece um bom indicativo do formato dos estômatos, na medida em que quanto maior esta relação, mais elipsóide é o formato estomático, e maior a sua funcionalidade. Verifica-se que o inverso, ou seja, quanto menor esta relação, menos elipsóide é o formato estomático, e menos funcional é o estômato. Entre os cafés, houve diferença para os tratamentos não

irrigados a favor do ‘Siriema’. Em geral, folhas com estômatos menores apresentam maior eficiência de uso da água e a diferença no tamanho da abertura estomática apresenta maior efeito sobre a difusão de água do que sobre a difusão de CO₂ (Abrams et al., 1994). Para Kozlowski et al. (1991), contudo, a capacidade de resposta dos estômatos às variáveis ambientais é mais importante para a determinação da condutância estomática do que o seu número.

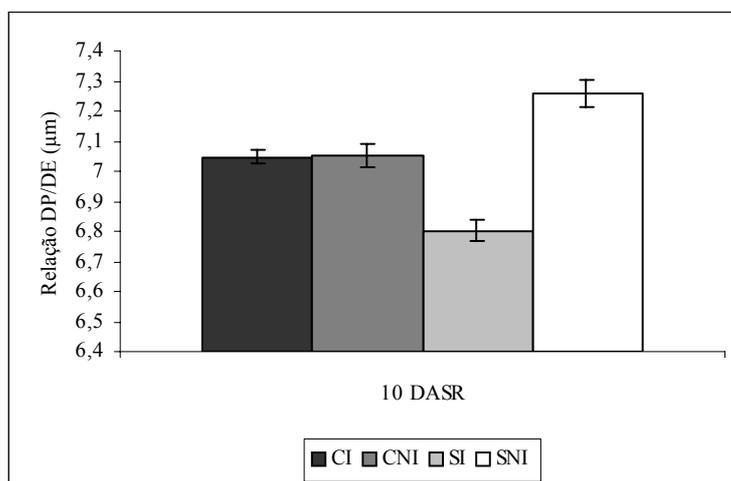


FIGURA 24. Relação entre diâmetro polar e equatorial (μm) em folhas de mudas de caféiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

Em relação à densidade estomática houve diferença entre os tratamentos irrigado e não irrigado para os dois cafés, entretanto para a ‘Catuai’ o maior

número de estômatos foi observado no tratamento irrigado e para o ‘Siriema’ no tratamento não irrigado (Figura 25). Entre os cafês, houve diferença para os tratamentos irrigados, tendo a maior densidade estomática sido encontrada na cv. Catuai; para os tratamentos não irrigados, a maior densidade foi para o ‘Siriema’, evidenciando que, na condição de deficiência hídrica, o ‘Siriema’ mostrou-se mais adaptado, aumentando o número de estômatos por área.

Em condições xéricas, a folha necessita aproveitar o tempo limitado de alta umidade relativa para realizar as trocas gasosas, o que poderá ser mais eficiente quanto maior for a área estomática útil (Leite & Lleras, 1978; Medri & Lleras, 1980).

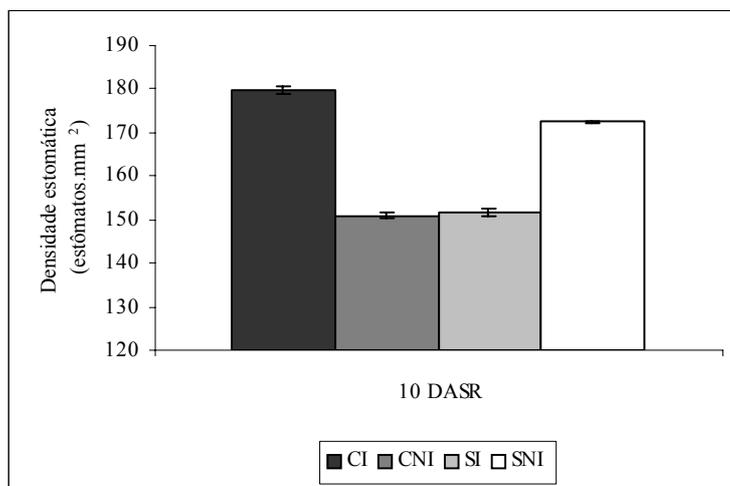


FIGURA 25. Densidade estomática estômatos (mm²) em folhas de mudas de cafeeiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

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 irrigado e não irrigado para os dois cafés (Figura 26). Entre os cafés não houve diferença para nenhum tratamento. De acordo com Cutter (1986), o índice estomático é razoavelmente constante para uma dada espécie, sendo afetado, principalmente, pela umidade. Com esse resultado, pode-se inferir que o aumento da densidade estomática para o ‘Siriema’ (Figura 24), não foi acompanhado de um aumento no índice estomático (Figura 26). Segundo Boardman (1977), o aumento da frequência de estômatos geralmente está correlacionado com a maior condutância estomática e, portanto, com uma menor resistência à difusão de gases. Para o índice estomático e condutância estomática, não foi verificada uma correlação para o ‘Siriema’, já que aos dez dias de suspensão de rega, houve diferença entre os tratamentos irrigado e não irrigado.

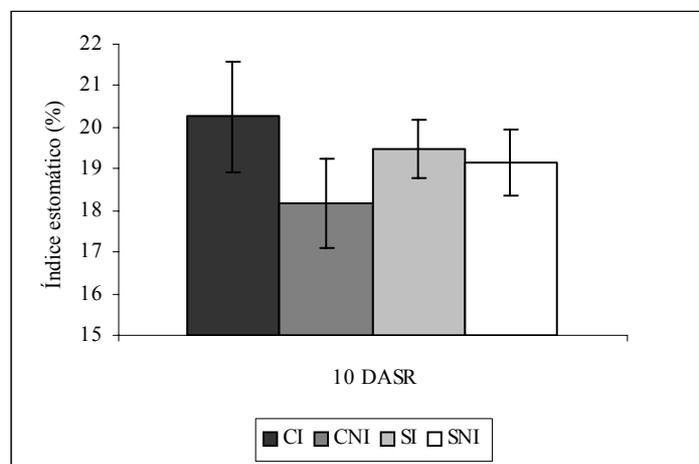


FIGURA 26. Índice estomático (%) em folhas de mudas de caféiro ‘Catuai’ irrigado (CI), ‘Catuai’ não irrigado (CNI), ‘Siriema’ irrigado (SI) e ‘Siriema’ não irrigado (SNI), dez dias após suspensão da rega (DASR). As barras representam o erro padrão da média de cinco repetições.

Verificam-se as características das células epidérmicas abaxiais na Figura 27. Nota-se que o ‘Siriema’, aos dez dias sem irrigação, apresentou um maior número e menor tamanho de células, de acordo com o índice estomático (Figura 26), tornando a epiderme mais espessa, do ponto de vista frontal, e menos sinuosa. Para a cv. ‘Catuaí’ não foram observadas mudanças significativas. Medri & Lleras (1980), sugeriram que a menor sinuosidade da parede celular pode estar relacionada às características adaptativas contra a perda excessiva de água.

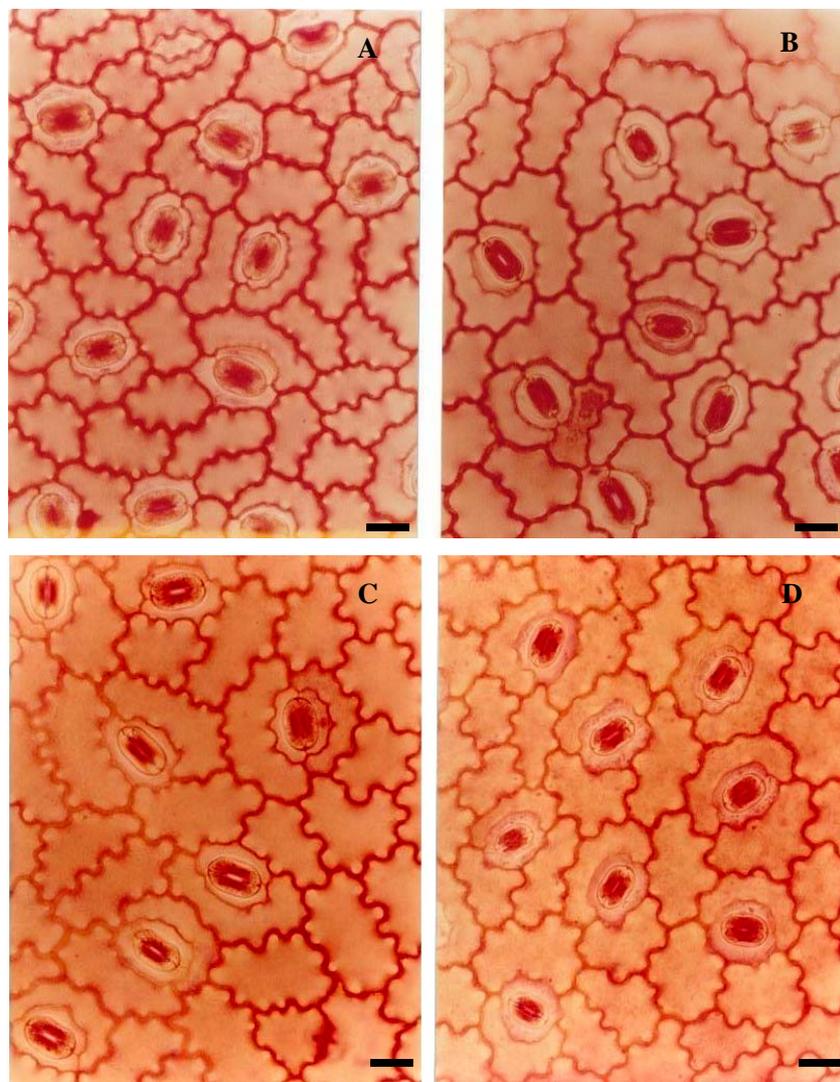


FIGURA 27. Fotomicrografias de secções paradérmicas da epiderme da face abaxial em folhas de mudas de cafeeiro 'Catuaí' irrigado (A), 'Catuaí' não irrigado (B), 'Siriema' irrigado (C) e 'Siriema' não irrigado (D), dez dias após suspensão da rega (DASR). Barra = 30 μ m.

5 CONCLUSÕES

Para o potencial hídrico, não houve diferença entre os cafés. O ‘Siriema’ apresentou melhor estratégia de resposta ao estresse hídrico para a condutância estomática, impedindo mais rapidamente a perda de água. Observou-se similaridade de comportamento da transpiração com a condutância estomática. Ao décimo quarto dia o ‘Siriema’ manteve a atividade estomática funcional, diferentemente da ‘Catuaí’.

A queda nos teores açúcares solúveis totais e redutores para o ‘Siriema’, coincidiu no tempo com os decréscimos nos valores de potencial hídrico, condutância estomática e transpiração, ao sexto dia, sugerindo um controle estomático associado à regulação do metabolismo de carboidratos, o que não ocorreu para ‘Catuaí’. Para prolina, não houve diferenças entre os cafés, apesar de diferenças entre tratamentos surgirem a partir do décimo dia sem irrigação.

Para a epiderme adaxial e abaxial, índice estomático e razão PP/LF não houve diferenças significativas em nenhuma situação estudada. Para o parênquima esponjoso no tratamento irrigado o ‘Siriema’ apresentou maior espessura em relação à ‘Catuaí’. Para o parênquima paliçádico, não houve diferença entre os cafés. O limbo foliar do ‘Siriema’ foi mais espesso que o da ‘Catuaí’, independentemente do tratamento. Para o diâmetro polar e equatorial houve diferenças entre os tratamentos irrigados e não irrigados para cada café e entre os cafés, os diâmetros polar e equatorial foram maiores no tratamento não irrigado para o ‘Siriema’. Para a relação DP/DE e densidade estomática o ‘Siriema’ não irrigado apresentou-se maior em relação à ‘Catuaí’ não irrigada.

Na condição deste experimento, os parâmetros avaliados permitiram discriminar satisfatoriamente os dois cafés estudados, em termos de tolerância diferencial à seca, em favor do material Siriema.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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, Jan. 1994.

ALFONSI, R. R. Histórico climatológico da cafeicultura brasileira. Centro de Ecofisiologia e Biofísica do Instituto Agronômico de Campinas. **Informativo Garcafé**, Graca, v. 5, n. 52, maio 2000.

ALVES, J. D. **Relações entre a redutase do nitrato e a fotossíntese no cafeeiro (Coffea arábica L.)**. 1985. 38 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

ANDRADE NETTO, J. F. de. **Atividade das enzimas redutase do nitrato e glutamina sintetase em cafeeiro arábica**. 2005. 60 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BARROS, R. S.; MOTA, J. W. S. da; DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arábica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crop Research**, Amsterdam, v. 54, n. 1, p. 65-72, Aug. 1997.

BARUCH, Z.; MÉRIDA, T. Effects of drought and flooding on root anatomy in four tropical forage grasses. **International Journal the Plant Science**. Chhicago, Chicago, v. 156, n. 4, p. 514-521, July 1995.

BERTHAUD, J.; CHARRIER, A. Genetic resouces of *Coffea*. In: CLARKE, R. J.; MACRAE, R. (Ed.). **Coffee**. London: Elsevier Applied Science, 1988. v. 4, p. 1-42.

BATES, L. S. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Short Communication. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 39, n. 1, 205-207, 1973.

BIERHUIZEN, J. F.; NUNES, M. A.; PLOEGMAN, C. Studies on the productivity of coffee. II. Efect of soil moisture on photosynthesis and transpiration or coffea arabica. **Acta Botanica Neerlandica**, Leiden, v. 18, p. 367-441, 1969

BOARDMAM, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 28, p. 355-377, 1977.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 2, n. 2, p. 48-54, Feb. 1997.

BRIDSON, D. M. Additional notes on *Coffea* (Rubiaceae) from Tropical East Africa. **Kew Bulletin**, London, v. 49, n. 2, p. 331-342, 1994.

CAMPOSTRINI, E. **Potencialidade fotossintética de cinco genótipos de *Coffea canephora* Pierre**. 1994. 40 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I. Crescimento y asimilación del carbono y nitrógeno en plantas jóvenes de coffeea en condiciones de sol y sombra. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE CAFEICULTURA, 19., 2000, Costa Rica. **Anais...** Costa Rica, 2000a. p. 101-108.

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; PEZZOPANE, J. R. M.; ALFONSI, E. L.; MAGOSSO, R. Densidade de fluxo de seiva em diferentes regimes de água. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas – MG. **Resumos expandidos...** Brasília – DF. : Embrapa Café ; Belo Horizonte: Minasplan, 2000b. 2 v, p. 42-45.

CHAVES, M. M. Effects of water déficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 234, p. 1-16, Jan. 1991.

CLARK, R. N.; HILER, E. A. Plant measuements as indicators of crop water déficits. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 4, p. 466-9, July/Aug. 1973.

CUTTER, E. G. **Anatomia vegetal**. Parte I – Células e tecidos. 2. ed. São Paulo: Roca, 1986. 304 p.

DaMATTa, F. M. **Alguns aspectos das relações hídricas em cultivares de *Coffea arábica* L. e *Coffea canephora***. 1991. 45 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

DaMATTa, F. M. **Desempenho fotossintético do cafeeiro em resposta a tensões abióticas**. 1995. p. Tese (Doutorado em Fisiologia vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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

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

DaMATTA, F. M.; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, Clare, v. 164, n. 1, p. 111-117, Jan. 2003.

DaMATTA, F. M.; LOOS, R.; DUCATTI, C.; SILVA, E. A.; LOUREIRO, M. E. Efeitos do nitrogênio e do déficit sobre as trocas gasosas, composição isotópica do carbono e emissão de fluorescência em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. MG. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, Belo Horizonte: Minasplan, 2000a. 2 v, p. 903-906.

DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M. Photoinhibition and recovery of photosynthesis in *Coffea arabica* and *C. canephora*. **Photosynthetica**, Prague, v. 34, n. 3, p. 439-446, 1997.

DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. **Photosynthetica**, Prague, v. 34, p. 2, p. 257-264, 1997a.

DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S.; REGAZZI, A. J. Water relations of coffee leaves (*Coffea arabica* and *C. canephora*) in response to drought. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 68, n. 5, p. 741-746, Sept. 1993.

DaMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; MOSQUIM, P. R.; BARROS, R. S. Photosynthesis in coffee (*Coffea arabica* and *C. canephora*) as affected by winter and summer conditions. **Plant Science**, Londrina, v. 128, n. 1, p. 43-50, Sept. 1997b.

DaMATTA, F. M.; RENA, A. B. **Relações hídricas no cafeeiro**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2002, Brasília. **Palestras...** . Brasília: Embrapa Café, 2002. p. 9-44.

DaMATTA, F. M.; RENA A. B. Tolerância do café à seca. In: ZAMBOLIN, L. (Ed.). **Tecnologias de Produção de Café com Qualidade**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2001. p.65-100.

DaMATA, F. M.; SILVEIRA, J. S. M.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Eficiência do uso da água e tolerância à seca em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas – MG. **Resumos expandidos...** Brasília – DF. : Embrapa Café ; Belo Horizonte : Minasplan, 2000b. 2 v, p. 907-910.

DIAS, P. C.; ARAÚJO, W. L.; BATISTA, K. D.; POMPELLI, M. F.; MORAES, G. A. B. K. de; DaMATTA, F. M. Relações hídricas e trocas gasosas em duas progênies de café submetidas a déficit hídrico moderado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. PR. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2005a. 1CD-ROM.

DIAS, P. C.; ARAÚJO, W. L.; MORAES, G. A. B. K. de; POMPELLI, M. F.; BATISTA, K. D.; CATEN, T. A.; VENTRELLA, M. C.; DaMATTA, F. M. 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, PR. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2005b. 1CD-ROM.

EMBRAPA. Café. Disponível em:
<http://www21.sede.embrapa.br/linhas_de_acao/alimentos/cafe/getView>.
Acesso em: 9 nov. 2005.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Influência do sombreamento nas características fisiológicas envolvidas no crescimento de espécies de *coffea*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAP, 1994. p. 289-290.

FAHN, A. **Plant anatomy**. Oxford: Pergamon Press, 1977. 611 p.

FOYER, C. H.; VALADIER, MARIE-HÉLÈNE.; MIGGE, A.; BECKER, T. W. Drought-induced effects on nitrate reductase activity and m RNA and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. **Plant Physiology**, Rockville, v. 117, n. 1, p. 283-292, May 1998.

FREITAS, R. B. de; OLIVEIRA, L. E. M. de; SOARES, A. M.; FARIA, M. A. de; DELÚ FILHO, N. Comportamento fisiológico de dois cultivares de *Coffea arabica* L. submetidos à duas condições de disponibilidade hídrica. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. MG. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café ; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. 2 v, p. 917-919.

JONES, M. M.; TURNER, N. C. Osmotic adjustment in leaves of sorghum in response to water deficit. **Plant Physiology**, Maryland, v. 61, n. 1, p. 122-126, Jan. 1978

JUSTO, C. F.; SOARES, A. M.; GAVILANES, M. L.; CASTRO, E. M. de. Plasticidade anatômica das folhas de *Xilopia brasiliensis* Sprengel (Annonaceae). **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v. 19, n. 1, p. 111-123, jan./mar. 2005.

KAISER, W. M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 71, n. 1, p. 142-149, Sept. 1987.

KANECHI, M.; UCHIDA, N. U.; YASUDA, T.; YAMAGUCHI, T. Nonstomatal inhibition associated with inactivation of Rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. **Plant & Cell Physiology**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 455-460, June 1996.

KOZLOWSKI, T.; KRAMER, P. J.; PALLARDY, S. G. **The physiological ecology of woody plants**. London: Academic Press, 1991. 657 p.

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

KRIEG, D. R. Photosynthetic activity during stress. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 7, n. 1/3, p. 249-263, 1983.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica*. Effects of light and temperature. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 13-19, Jan. 1980.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Some aspects of photosynthesis and related processes in *Coffea arabica* L. **Kenya Coffee**, Local. v. 41, n. 486, p.309-315, , Sept. 1976.

LABOURIAU, L. G.; OLIVEIRA, J. G.; SALGADO- LABOURIAU, M. L. Transpiração de *Schizolobium parahyba* (Vell) Toledo I. Comportamento na estação chuvosa, nas condições de Caeté, Minas Gerais. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 237-257, out./dez. 1961.

LEITE, A. M. C.; LLERAS, E. Ecofisiologia de plantas da Amazônia: anatomia foliar e ecofisiologia de *Pogonophora schomburgkiana* Miers. (Euphorbiaceae). **Acta Amazônica**, Manaus, v. 8, n. 3, p. 365-370, set. 1978.

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

LIMA, A. L. S. da **Respostas fotoquímicas e atividade do sistema antioxidativo em dois clones de *Coffea canephora* sob condições de déficit hídrico**. 2001. 21 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MAESTRI, M.; DAMATTA, F. M.; REGAZZI, A. J.; BARROS, R. S. Accumulation of proline and quaternary ammonium compounds in mature leaves of water stressed coffee plants (*Coffea arabica* and *C. canephora*). **Journal of Horticultural Science**, Ahsford, v. 70, n. 2, p. 229-233, Mar. 1995.

MARTIM, S. A. **Pulverização do cafeeiro com Açúcar: potencial de uso em mudas submetidas à deficiência hídrica e na recuperação de plantas atingidas por Glyphosate**. 2003. 67 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; SILVA, M. B.; FERREIRA, R. A. Seleção de progênies de café visando resistência à ferrugem do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília, DF : Embrapa Café, 2003. p. 243.

MATIELLO, J. B.; ALMEIDA, S. R.; SILVA, M. B. Maior vigor e resistência à seca em cafeeiros Siriema. **Revista Brasileira de Tecnologia Cafeeira**, v. 1, n. 2, p. jul./ago. 2004.

MATSUDA, K.; RAYAN, A. Anatomy: A key factor regulating plant tissue response to water stress. In: KAFTERMAN, F. **Environmental Injury to Plants**. San Diego: Academic Press, 1990. 290 p.

MAZZAFERA, P.; CARVALHO, A. Yield and drought tolerance evaluation of coffee plants (*Coffea arabica* L.). **Bragantia**, Campinas, v. 46, n. 2. p. 403-416, 1987.

MAZZAFERA, P.; TEIXEIRA, J. P. F. Prolina em cafeeiros submetidos à déficit hídrico. **Turrialba**, San José, v. 39, n. 3, p. 305-313, jul./set. 1989.

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.

MEINZER, F. C., GOLDSTEIN, G.; GRANTZ, D. A. Carbon isotope discrimination in coffee genotypes grown under limited water supply. **Plant Physiology**, Rockville, v. 92, n. 1, p. 130-145, Jan. 1990.

MEINZER, F. C.; SALIENDRA, N. Z.; CRISOSTO, C. H. Carbon isotope discrimination and gas exchange in coffee arabica during adjustment to different soil moisture regimes. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v. 19, n. 2, p. 171-184, 1992.

MILLER, G. L. Use dini trosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Biochemistry**, Washington, v. 31, n. 3, p. 426-428, Feb. 1959.

NEWSCAFEICULTURA. Números do agronegócio mundial do café. Disponível em: <http://www.newscafeicultura.com.br/news_cafeicultura/one-news.asp?IDNews=3389>. Acesso em: 02 set. 2004.

NOGUEIRA, R. M. C.; ARAÚJO, E. de L.; WILLADINO, L. G.; CAVALCANTE, U. M. T. **Estresses ambientais: danos e benefícios em plantas**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. Palestras, 500 p.

NUNES, M. A. Water relations in coffee. Significance of plant water deficits to growth and yield: a review. **Journal of Coffee Research**, Karnataka, v. 6, p. 4-21, 1976.

NUNES, M. A.; RAMALHO, J. D. C.; DIAS, M. A. Effect of nitrogen supply on the photosynthetic performance of leaves from coffee plants exposed to bright light. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 262, p. 893-899, May 1993.

OLIVEIRA, J. G. de. **Acompanhamento da fotossíntese líquida e da cinética de emissão de fluorescência da clorofila a de plantas de café (*Coffea arabica* L.) submetidas a um ciclo de suspensão e restabelecimento da irrigação**. 1995. 51 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PINHEIRO, C.; CHAVES, M. M.; RICARDO, C. P. Alterations in carbon and nitrogen metabolism induced by water deficit in the stems and leaves of *Luupinus albus* L. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 358, p. 1063-1070, May 2001.

PITMAN, W. D.; HOLT, E. C.; CONRAD, B. E.; BASHAW, E. C. Histological differences in moiture-stressed and nonstressed kleingrass forage. **Crop Science**, Madison, v. 23, p. 793-795, 1983.

PRAXEDES, S. C. **Efeito do déficit hídrico no metabolismo fotossintético de clones de *Coffea canephora* cv. Conilon com tolerância diferencial à seca**. 2003. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS, J. P. F. Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do sertão sob estresse hídrico e após reidratação. **Brazilian Journal Plant Physiology, Londrina**, v. 14, n. 1, p. 59-63, Jan./Apr. 2002.

RAMIRO, D. A.; GUERREIRO-FILHO, O.; VOLTAN, R. B. Q.; MATTHIESEN, S. C. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3. p. 363-367, 2004.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **ITEM**, Brasília, v. 48, p. 34-41, set. 2000.

ROCHA, H. S. **Luz e sacarose na micropropagação da bananeira “Prata Anã”**: alterações morfoanatômicas. 2005. 98 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RODRIGUES, O. **Efeito do déficit hídrico na fotossíntese, resistência estomática, atividade da redutase do nitrato, e no acúmulo de prolina livre em *Coffea arabica* L.** 1988. 42 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RONCHI, C. P.; BATISTA, K. D.; MORAES, G. B. K.; CATEN, T. A.; DaMATTIA, F. M. Efeitos de taxas de imposição e severidade do déficit hídrico sobre o metabolismo de carboidratos em folhas de *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 4., 2005, Londrina. PR. **Resumos expandidos...** Brasília: Embrapa Café, 2005. 1CD-ROM.

SHARP, R. E.; DAVIES, W. J. Root growth and water uptake by maize plants in drying soil. **Journal Experimental Botany**, Oxford, v. 36, n. 170, p. 1441-1456, Sept. 1985.

SILVA, S. da. **Respostas fisiológicas de gramíneas promissoras para revegetação ciliar de reservatórios hidrelétricos submetidos a diferentes regimes hídricos.** 1999. 73 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

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

YEMM, E. W.; COCCKING, E. C. The stimulation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **The Biochemistry Journal**, London, v. 57, n. 3, p. 508-514, 1954.