

**PULVERIZAÇÃO DO CAFEIEIRO COM AÇÚCAR:
POTENCIAL DE USO EM MUDAS SUBMETIDAS À
DEFICIÊNCIA HÍDRICA E NA RECUPERAÇÃO DE
PLANTAS ATINGIDAS POR GLYPHOSATE**

SÍLVIA APARECIDA MARTIM

2003

56963
048662

Silvia Aparecida Martim

**PULVERIZAÇÃO DO CAFEIEIRO COM AÇÚCAR: POTENCIAL DE
USO EM MUDAS SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E NA
RECUPERAÇÃO DE PLANTAS ATINGIDAS POR GLYPHOSATE**

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
obtenção do título de "Mestre".

Orientador

Prof.. Dr. José Donizeti Alves

LAVRAS
MINAS GERAIS -
2003

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

Martim, Silvia Aparecida

Pulverização do cafeeiro com Açúcar: potencial de uso em mudas submetidas à deficiência hídrica e na recuperação de plantas atingidas por Glyphosate / Silvia Aparecida Martim. -- Lavras : UFLA, 2003.

67 p. : il.

Orientador: José Donizeti Alves.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

I. Café. 2. Sacarose. 3. Glyphosate. 4. Deficiência hídrica. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-583.520418
-633.7335

SÍLVIA APARECIDA MARTIM

PULVERIZAÇÃO DO CAFEIEIRO COM AÇÚCAR: POTENCIAL DE USO EM MUDAS SUBMETIDAS À DEFICIÊNCIA HÍDRICA E NA RECUPERAÇÃO DE PLANTAS ATINGIDAS POR GLYPHOSATE

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

Aprovada em 29 de agosto de 2003

Prof. Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes

UFLA

Profª. Dra. Ângela Maria Soares

UFLA


Prof. Dr. José Bonizeti Alves
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Biografia

Sílvia Aparecida Martim, formou-se Técnica em Agropecuária pela Escola Agrotécnica Federal de Barbacena, MG em 1993. No ano de 1996 ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, concluindo-o em julho de 2001. Durante a graduação exerceu atividades de pesquisa em Fisiologia pós-colheita de frutas e hortaliças, e monitoria das disciplinas Fertilidade dos solos Brasileiros e Propagação de Plantas. Em agosto de 2001, iniciou o mestrado em Agronomia/Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Lavras, obtendo o título de mestre em agosto de 2003.

A Deus, por sua presença sempre constante.
À minha amada mãe, Anadir pelo amor, pela dedicação e por ser meu alicerce
em todos os momentos de minha vida.

DEDICO.

Não vos ensoberbais do que sabeis, porquanto esse saber tem limites muito
estreitos no mundo em que habitais.

(Ferdinando, 1862)

Vivemos esperando o dia em que seremos melhores, melhores no amor, na dor,
melhores em tudo.....

Às amigas de fato e irmãs por escolha, Priscila e Tuca, por sempre estarem ao
meu lado.

OFEREÇO.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e por todas as oportunidades a mim ofertadas.

À Dona Anadir Martim, por ter me passado seus valiosos conceitos de humanidade, amor, honestidade e caráter, por seu apoio sempre incondicional e principalmente por me dar a honra de tê-la como MÃE.

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

Ao professor Dr. José Donizeti Alves "Doni", que com suas características peculiares de orientação, só fez contribuir para meu crescimento profissional.

À professora Dra. Ângela Maria Soares, pela boa vontade com que sempre me recebeu e pelas contribuições dadas ao trabalho.

Ao professor Dr. Antônio Nazareno Guimarães Mendes, por sua relevante participação na banca.

Ao professor Dr. Luis Edson Mota de Oliveira "tio Lulu", pelos incontáveis dias e noites na companhia do Buchanam, Taiz, artigos, Internet entre outros, os quais tenho certeza não foram em vão, e pela agradável convivência nestes dois anos.

Aos professores da Fisiologia Vegetal, Renato Paiva, Amauri Alves Alvarenga e Marcelo Murad Magalhães, pelas aulas ministradas e pelo agradável ambiente de trabalho. Em especial ao Renato Paiva, por suas brincadeiras nos momentos de descontração dentro do setor, sempre colocando em evidência os principais acontecimentos sociais da Fisiologia vegetal.

Às minhas queridas amigas-irmãs Priscila e Tuca, por fazerem parte da minha história, sempre me apoiando, me ouvindo, aconselhando e me proporcionando alegria mesmo à distância. À Tuca, pelas conversas profissionais sobre o presente e o futuro, pelas trocas de conhecimentos Kardecistas, e à Pri por seu incentivo, enorme amizade, e por continuar sendo minha fadinha da alegria, (a Telemar também agradece).

Aos queridos amigos Cíntia, Leonardo e Rúbia, por terem levantado meu moral com seus conselhos sempre sensatos os quais foram essenciais para a minha adaptação à cidade e ao curso, e obviamente pelos agradáveis dias que passamos neste período, com muitas gargalhadas e algumas festas. Em especial ao Leonardo pela presença sempre protetora de um irmão, pelo carinho e por ser meu exemplo de pesquisador.

As amigas Anne Cybele e Daniela Duarte, por terem me dado abrigo temporário em um momento delicado. À Anne que com suas palavras engraçadas me proporcionou muitas gargalhadas, e à Daniela pelas incansáveis confidências que com certeza contribuíram para o surgimento de uma grande amizade.

À amiga Cláudia, por me conduzir às cinco horas da manhã até a UFLA, durante as avaliações de potencial hídrico, pelos trabalhos de disciplinas que fizemos

juntas, pela troca de idéias durante a elaboração do referencial teórico e principalmente pela alegria de sua companhia e amizade.

À Ednabel Caracas (Bel APG), por sua incansável observação dos fatos cotidianos, nunca deixando escapar nenhuma manota, mas com um senso humorístico que deixava os dias mais difíceis sempre agradáveis em sua companhia.

Às amigas Nara, Vânia e Mariana, pela agradável companhia, pelos cafés, almoços, jantares e muitos bate-papos compartilhados durante o andamento do curso.

Aos amigos, Gustavo, Leonardo, Daniela Deitos e Anne, pelos auxílios durante a execução dos experimentos, e ao Érico, por sua ajuda na etapa burocrática da dissertação, principalmente pelo empréstimo de sua impressora.

Ao estudante de graduação Saulo, por sua ajuda na condução do experimento de deficiência hídrica.

Aos demais amigos da Fisiologia Vegetal, Rairys, Marco Antônio, Jorge (Colômbia), Roberto (azia), Cristina, Marina, Giandré, Inês, Márcio, Morbeck, Grécia, Andréa, Tereza, Cristiano, Paulo Cairo, Breno, Soami, Aurélio, Alessandro, Fernanda, Guto, Rodrigo João Paulo, Karina, Geórgia, Patrícia (garrafinha), Patrícia Goulart e Peterson pela agradável convivência, fazendo da Fisiologia um dos setores mais harmoniosos da UFLA.

Aos funcionários Lena, Evaristo, Izonel, Odorêncio, Tanhã e Mauro pelos serviços prestados, e em especial ao Joel que muito me ajudou na elaboração de meus experimentos.

Ao Bijhuzinho, que mesmo distante me deixava feliz ao lembrar de suas peripécias.

A todos os amigos que dividiram comigo inúmeras festas freqüentadas ao longo desses dois anos.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Deficiência hídrica e respostas das plantas.....	3
2.2 Resposta fisiológicas do cafeeiro ao déficit hídrico.....	11
2.3 O glyphosate no controle de plantas invasoras.....	16
2.4 Pulverização do cafeeiro com produtos orgânicos.....	19
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Efeito da pulverização de mudas de cafeeiro no viveiro e/ou no campo.....	22
3.1.1 Potencial hídrico e trocas gasosas.....	25
3.1.2 Características bioquímicas.....	25
3.2 Efeito da pulverização de plantas de cafeeiro a fim de prevenir injúrias pelo glyphosate.....	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
4.1 Efeito da pulverização de mudas de cafeeiro no viveiro e/ou no campo.....	30
4.1.1 Microclima.....	30
4.1.2 Potencial hídrico.....	31
4.1.3 Trocas gasosas.....	36
4.1.4 carboidratos.....	40
4.1.5 Atividade da redutase do nitrato.....	46
4.2 Efeito da pulverização de plantas de cafeeiro a fim de prevenir injúrias pelo glyphosate.....	50
5 CONCLUSÕES.....	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

RESUMO

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.

Este trabalho teve por objetivo verificar a eficácia da pulverização do cafeeiro com açúcar nos processos de tolerância à deficiência hídrica em mudas, e desintoxicação causada pelo glyphosate em plantas adultas. Para tanto, submeteram-se ou não mudas de cafeeiros a cinco pulverizações com sacarose a 4% no viveiro e/ou na casa-de-vegetação, quando as mesmas foram submetidas ao déficit hídrico durante dez dias. Nesse período foram avaliadas as seguintes características: potencial hídrico foliar, condutância estomática, fotossíntese, transpiração, atividade das enzimas redutase do nitrato e invertases neutra do citossol e ácida do vacúolo e teores de açúcares solúveis totais, açúcares redutores, sacarose e amido. No experimento onde se pretendeu avaliar o efeito da pulverização com açúcar na desintoxicação pelo glyphosate, pulverizou-se, em intervalos semanais, sacarose a 2% em uma lavoura adulta que recebeu deriva de glyphosate. Nas condições em que foram realizados os experimentos conclui-se que: a) a pulverização de açúcar em mudas no viveiro, antes de serem transferidas para a casa-de-vegetação, ou na casa-de-vegetação após a transferência seguida de déficit hídrico, proporcionou uma melhor manutenção do potencial hídrico das plantas associado a menores valores de condutância estomática, transpiração e fotossíntese, tornando-as mais tolerantes a ocorrência de um período sem água; b) a pulverização de cafeeiros com açúcar a 2%, uma semana após deriva de glyphosate, mostrou-se eficiente no processo de reversão da intoxicação por esse herbicida.

Comitê orientador: Dr. José Donizeti Alves – UFLA (Orientador)

ABSTRACT

MARTIM, S.A. Coffee pulverization with sugar: potential use in plantlets submitted to water deficits and in plants recovery from glyphosate spraying. Lavras: UFLA, 2003. 67 p. (Dissertation - Master's Program in Plant Physiology)

This research aimed to verify the efficiency of coffee pulverization with sugar in processes related to water deficit in plantlets and the desintoxification caused by glyphosate in adult plants. For this purpose, coffee plantlets were submitted or not to five sacarose 4% pulverizations in nursery house and/or greenhouse, when the same were subjected to water deficit during ten days. In this period it was evaluated the following characteristics: leaf water potential, stomatic conductance, photosynthesis, transpiration, nitrate reductase and cytosol neutral invertase and vacuole acid invertase associated with total soluble sugars, reducing sugars and starch levels. In order to evaluate the effect of sugar pulverization in desintoxification by glyphosate, the samples were pulverized at weekly intervals, with sacarose 2% in a adult crop that received glyphosate. In the conditions it was possible to conclude that a) pulverization with sugar in plantlets in nursery house, before the transference greenhouse, or in greenhouse after the transference followed by water deficit, caused a better plants water potential maintenance associated with lower values of stomatic conductance, transpiration and photosynthesis, becoming more tolerant to a period without water; b) pulverization the coffee tree with sugar 2%, a week after glyphosate, showed efficient to revert the herbicide desintoxification.

Guidance Committee: Dr. José Donizeti Alves (UFLA)

1 INTRODUÇÃO

O cafeeiro, pela sua origem, nos vales das regiões montanhosas da Abissínia, onde cresce permanentemente sob densas florestas tropicais ao abrigo de altas temperaturas e com precipitação bem distribuída, é originalmente considerada uma espécie adaptada à sombra, embora no Brasil a maioria das lavouras seja atualmente conduzidas a pleno sol. Essas condições, em que a temperatura, durante a estação de maior crescimento, excede a 30°C e os níveis de radiação se aproximam de 2200 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, causam estresse às plantas, especialmente às plantas jovens onde, após o plantio de mudas originadas de viveiros parcialmente sombreados, na maioria das vezes ocorre um período de prolongada seca. Nestes casos, a fotossíntese sofre fotoinibição, as folhas apresentam-se amareladas como resultado da degradação de clorofilas, associada a uma forte deficiência de nitrogênio originada por uma queda substancial do metabolismo do nitrato, a transpiração e a temperatura foliar aumentam, enquanto a condutância estomática diminui. Como resultado, as mudas não se desenvolvem e muitas vezes morrem, o que onera a fase de implantação da lavoura pela atividade de replantio.

Um outro fator complicador da produção é a suscetibilidade do cafeeiro à competição por plantas invasoras, o que pode afetar o seu desenvolvimento vegetativo e reprodutivo, com conseqüente queda na produção. A fim de evitar este inconveniente os cafeicultores utilizam, em larga escala, um herbicida não seletivo que tem como principio ativo o Glyphosate de ação sistêmica, acumulando-se nos tecidos meristemáticos das brotações e órgãos de reserva, intoxicando a planta do cafeeiro pelos acidentes com deriva durante a fase aplicação do herbicida.

Diante desses fatos, a susceptibilidade do cafeeiro aos efeitos advindos dos altos níveis de radiação e da intoxicação pelo Glyphosate tem sido relatado pelos cafeicultores que a pulverização de solução de sacarose poderia minimizar os efeitos negativos desses estresses. Entretanto, faltam na literatura dados disponíveis que venham comprovar ou rechazar estas afirmações.

Diante do exposto, objetiva-se, com este trabalho, verificar o efeito da aplicação exógena de solução de sacarose na tolerância ao déficit hídrico em mudas de cafeeiro submetidas à suspensão da rega, bem como a possível influência na desintoxicação de cafeeiros que sofreram deriva pelo Glyphosate.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Deficiência hídrica e respostas das plantas

Os vegetais são freqüentemente expostos a variadas condições ambientais, as quais afetam os processos de crescimento, desenvolvimento e produção. Dentre os fatores que provocam danos às plantas, o déficit hídrico é, provavelmente, o que mais limita a produtividade, pois além de afetar as relações hídricas das plantas, alterando-lhes o metabolismo, é um fenômeno de ocorrência em grandes extensões de áreas cultivadas.

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). De acordo com Hu & Schimidhalter (1998), o estresse hídrico altera uma variedade de processos bioquímicos e fisiológicos, alcançando desde a taxa fotossintética até a síntese de proteínas e acúmulo de solutos. Entretanto, a extensão e a natureza dos efeitos da deficiência hídrica nas plantas ocorrem em função da intensidade e duração do estresse, bem como da capacidade genética das espécies em produzir neste ambiente.

Conforme descrito por Bray (1997), as respostas das plantas ao déficit hídrico dependem da espécie e genótipo, da duração e severidade da perda de água, da idade e estágio de desenvolvimento, do órgão e 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 baixa disponibilidade hídrica provoca efeitos negativos nas células, como alterações no volume celular e formato das membranas, perda do gradiente do potencial de turgor e hídrico, desnaturação de proteínas e aumento na concentração de solutos. No entanto, a habilidade de resposta e sobrevivência da

planta é dependente de um mecanismo global capaz de integrar as respostas celulares. Essas respostas podem ocorrer em poucos segundos, como alteração no status de fosforilação de uma proteína, ou em minutos e horas, como, modificações na expressão gênica (Bray, 1997).

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. Kramer & Boyer (1995), classificam os mecanismos de tolerância à seca como escape, tolerância e atraso da dessecação. Muitas espécies podem escapar desse estresse amadurecendo rapidamente antes de iniciar as condições de seca ou reproduzindo-se somente após a chuva. Em contrapartida, outras espécies podem adiar a dessecação pelo profundo crescimento das raízes e/ou controlando efetivamente a perda de água, principalmente pelo fechamento dos estômatos e diminuição da área foliar, melhorando deste modo, o status hídrico e a manutenção do turgor.

O ajustamento osmótico é considerado um importante componente do mecanismo de tolerância à seca, pois contribui para a manutenção do turgor e, conseqüentemente, de processos a ele associados, tais como crescimento e fotossíntese. Conforme Blum et al. (1996), o ajustamento osmótico é comumente definido como uma diminuição do potencial osmótico da seiva, como resultado do aumento nos solutos intracelulares.

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.

Em estudos relacionando o papel do potássio e da sacarose na osmorregulação das células guardas de folhas de *Vicia faba* crescendo em casa-de-vegetação e câmara de crescimento, Talbott & Zeiger (1996) detectaram que a osmorregulação depende de dois diferentes ciclos regulatórios, o transporte do potássio e o acúmulo de sacarose, ocorridos em diferentes fases, nos dois ambientes estudados. A primeira fase ocorrida pela manhã, a abertura do estômato, foi correlacionada em maior extensão com a entrada de potássio nas células guardas, e em menor extensão com o acúmulo de sacarose nas mesmas células. Já na segunda fase, ocorrida na parte da tarde, na qual a abertura foi máxima, a sacarose foi o osmótico dominante.

A contribuição dos íons inorgânicos (K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Pi , Cl^- , NO_3^- e NH_4^+) para o mecanismo de ajustamento osmótico em três cultivares de *Triticum durum* Desf. submetidas a suspensão da irrigação por quinze dias foi aproximadamente 8,8 vezes maior do que a dos solutos orgânicos. Entretanto, o auxílio dos solutos orgânicos aumentou durante o desenvolvimento do estresse, principalmente em função dos açúcares e prolina (Bajji et al., 2001). Porém, ao estudarem o papel do acúmulo de solutos e o ajustamento osmótico na tolerância à seca em *Ziziphus mauritiana* (Lamk.), Clifford et al. (1998) relataram um decréscimo no potencial osmótico das células, associado a um aumento de três a oito vezes nas concentrações de glicose e frutose, e um aumento de trinta e cinco vezes nos teores de prolina, durante o período de estresse hídrico. Os autores sugerem que a alteração ocorrida no particionamento dos solutos pode ser um importante fator na tolerância à seca na espécie estudada.

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. Entretanto, quando o estômato se fecha para proteger a planta da perda de água, ele simultaneamente restringe a difusão do CO_2 atmosférico,

conseqüentemente provocando queda na taxa fotossintética. A relação entre a condutância estomática e as taxas fotossintética e transpiratória tem sido relatada em diversos estudos (Chartzoulakis et al., 2002; Oliveira et al., 2002; Medina et al., 1999; DaMatta, 2003).

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).

Estudos envolvendo a condutância estomática, fotossíntese e transpiração em pupunheira (Oliveira et al., 2002) e abacate (Chartzoulakis et al., 2002), submetidos a deficiência hídrica, revelaram a capacidade das espécies em manter a turgescência. Nessas espécies, houve uma redução nos valores das taxas fotossintética e transpiratória, bem como da condutância estomática com o progresso do estresse, sendo essas reduções acompanhadas pela queda do potencial hídrico das folhas. Entretanto, em um mesmo estudo feito com laranjeira "valência", Medina et al. (1999) encontraram resultados semelhantes para condutância estomática e fotossíntese, porém a transpiração permaneceu com valores altos.

Tem sido observado que em condições de moderado estresse hídrico, o aparato fotossintético não é danificado a ponto de inibir seu funcionamento, o que pode ser explicado pela sua ligação com a fotorrespiração (Brestic et al., 1995) e estimativas da concentração interna de CO₂ (C_i) (Donavan & Ehleringer, 1994). Entretanto, quando submetidas a déficits severos, as plantas que atingem potenciais hídricos abaixo de um valor crítico apresentam perda na capacidade fotossintética, proporcionando aumento na concentração de carbono

intercelular, associada à menor atividade da enzima de carboxilação (Brodrribb, 1996; Medina et al., 1999; Machado et al., 1999). Essa situação pode ser agravada em condições de altas temperaturas e altos valores de déficit de pressão de vapor (Brakke & Allen, 1995; Medina & Machado, 1998).

Nas situações em que o período de seca é prolongado, quando a dessecação mais intensa, ou outros estresses são impostos, podem ocorrer alterações nas funções metabólicas (Kaiser, 1987). Diversos estudos têm demonstrado que o metabolismo do carboidrato é muito sensível às alterações no status hídrico das plantas. Chaves (1991), descreveu que o particionamento dos assimilados é o resultado de um jogo 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.

Em folhas totalmente expandidas, o carbono é distribuído entre a própria folha e o resto da planta, já em folhas maduras a maioria do carbono é transportada para o resto da planta. Processos regulatórios na própria folha determinam a quantidade de carbono que será disponibilizado para armazenamento, manutenção e transporte. O controle metabólico da exportação de triose fosfato (triose-P), a partir do cloroplasto para síntese de sacarose, e síntese e quebra de amido, já está razoavelmente esclarecido (Dennis & Blakeley, 2000; Stitt & Quick, 1989).

De acordo com Huber (1989), as espécies diferem na forma de distribuição do carbono fixado fotossinteticamente entre amido e sacarose, bem como na extensão pela qual a folha acumula ou exporta o carboidrato durante o fotoperíodo. Sob condições de deficiência hídrica ocorre uma forte diminuição nos teores de amido, considerado soluto osmoticamente inativo, e simultaneamente aumento nos teores de açúcares solúveis considerados

osmoticamente ativos, propiciando assim um abaixamento do potencial osmótico e favorecendo a manutenção do potencial hídrico da folha. Além disso, de acordo com Bray (1997), os açúcares são a fonte de energia e carbono requeridos para as respostas de defesa e adaptação ao estresse, e um aumento no suprimento dessas moléculas é necessário para a sobrevivência da planta nessa condição.

A literatura tem relatado 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. Yang et al. (2001), estudando a atividade das enzimas hidrolíticas do amido em colmos de arroz sob deficiência hídrica durante o enchimento dos grãos, observaram um aumento na taxa e redução na duração de enchimento dos grãos. Nestas condições, houve um aumento na atividade das enzimas α e β -amilase (sendo o α -amilase mais acentuado), significativamente correlacionado com o aumento nas concentrações de açúcares solúveis do colmo. Houve ainda, concomitantemente, aumento na atividade da enzima sacarose fosfato sintase, intimamente correlacionado com o acúmulo da sacarose. Em cotilédones de pepino submetidos a estresse hídrico, Todaka et al. (2000) encontraram resultados semelhantes, porém o aumento na atividade das enzimas hidrolíticas do amido foi mais pronunciado para a β -amilase que para a α -amilase.

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 quebra. As enzimas sacarose sintase e invertase são aptas a catalisar a reação de quebra da sacarose. A invertase (EC 3.2.1.26) é uma hidrolase, que hidrolisa sacarose em glicose e frutose, enquanto a sacarose sintase (EC 2.4.1.13) é uma enzima citoplasmática que quebra sacarose em UDP-glicose e frutose.

As plantas possuem duas formas da invertase, uma com pH ótimo ácido atuando no vacúolo e na parede celular e a outra com atividade ótima em condições alcalinas presentes no citoplasma (Sturm, 1999). O papel das invertases é de extrema importância em diversos processos durante o ciclo de uma planta, como, por exemplo, o envolvimento da invertase no sítio de carregamento/descarregamento do floema, a invertase vacuolar nos órgãos dreno e o envolvimento nas respostas de defesa a estresses e recuperação do turgor para expansão celular (Sturm & Tang, 1999).

Os dados existentes na literatura relacionados à atividade das enzimas invertases sob condições de deficiência hídrica têm apresentado diferenciados padrões de respostas, que variam conforme a intensidade do estresse e a espécie estudada. Um aumento na atividade das invertases, ácida do vacúolo e neutra do citossol, foi observado em folhas de *Lupinus albus* L. seis dias após a suspensão da irrigação, com posterior decréscimo no progresso do déficit hídrico (Pinheiro et al., 2001). Resultados semelhantes foram encontrados por Peleschi et al. (1997) em folhas de milho, porém o aumento da atividade enzimática ocorreu aos dois dias de suspensão da irrigação para o genótipo F2 (Europeu grão duro) e aos três dias para o genótipo Io (Norte americano grão semi-dentado). Por outro lado, Stancato et al. (2001) observaram uma redução significativa na atividade da enzima invertase ácida em folhas do híbrido F1 de orquídea *Cattleya forbesii* Lindl. X *Laelia tenebrosa* Rolfe, quarenta e cinco dias após a suspensão da irrigação.

O metabolismo do carbono e do nitrogênio são co-regulados em plantas superiores. Energia e esqueletos de carbono são requeridos para a assimilação de nitrogênio, sendo supridos direta ou indiretamente (via sacarose) pela fotossíntese. A assimilação do carbono e do nitrogênio responde a estímulos da luz e do escuro, os quais geralmente atuam para manter esses processos

coordenados com a fotossíntese. Para tal, é necessário a regulação de enzimas chaves para cada ciclo (McMichael Júnior, 1995).

A redução do NO_3^- a NH_3 em plantas depende do sistema enzimático redutase do nitrato/redutase do nitrito, o qual é muito complexo e sensível, que protege o metabolismo do nitrogênio das variações ambientais. Sob deficiência hídrica, o metabolismo das proteínas e dos aminoácidos é imediatamente limitado, e uma das sínteses enzimáticas mais inibida é a da redutase do nitrato.

A redutase do nitrato (EC 1.6.6.1-3), considerada enzima chave no metabolismo do nitrogênio, catalisa a reação de redução do NO_3^- a NO_2^- , apresentando forte correlação com as taxas fotossintéticas (Foyer et al., 1998; Méry et al., 1998). Em conformidade com Kaiser & Huber (1994), a redução do nitrato é um processo de alta demanda energética, requerendo oito moles de elétrons (ou quatro de NAD(P)H) para um mol de nitrito. A atividade da enzima aumenta rapidamente na presença de seu substrato (NO_3^-), luz e temperatura, e diminui pelo acúmulo do produto final (NH_3), estresse hídrico ou térmico e escuro (Kramer & Boyer, 1995).

A deficiência hídrica reduz significativamente a atividade da enzima nitrato redutase, chegando a decréscimos de 50% da atividade inicial em plantas de cafeeiros submetidas à suspensão da rega (Rodrigues, 1988); 10% em milho, sete dias após indução do estresse hídrico (Foyer et al., 1998); e 0% em fumo, 4 dias após indução do estresse (Méry et al., 1998).

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 (Pro), comumente relacionado a estas condições. Aumento nos níveis de prolina durante a desidratação foram

relatados em *Arabidopsis* (Yoshida et al., 1997) e cevada (Argandona & Pahlische, 1991).

2.2 Respostas fisiológicas do cafeeiro ao déficit hídrico

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. Em estudo sobre comportamento fisiológico nas cultivares de *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 clone 46, possibilitando a manutenção da taxa fotossintética e tornando-se, conseqüentemente mais apto a produzir nessa condição de estresse (DaMatta et al., 2003).

Em relação à fotossíntese, Goldenberg et al. (1988) observaram que ela permaneceu pouco afetada por potenciais hídricos foliares na faixa de -1,5 MPa, e em valores de -2.0 MPa Kumar & Tiezen (1980) relataram, em condições de campo, reduções de apenas 25% na taxa fotossintética do cafeeiro. Por outro lado, em potenciais hídricos de -2,7 MPa, a redução na taxa fotossintética não foi acompanhada por decréscimos na condutância estomática, e sim por aumentos de 25 e 32% na concentração interna de CO₂ em plantas de *Coffea*

arabica L. cv. Catuaí e *Coffea canephora* cv. Conilon, respectivamente (DaMatta, 1995). Rena & Maestri (2000) observaram, em condições de campo, em que a temperatura varia constantemente, que a redução na condutância mesofilica desempenha um importante papel na regulação da assimilação do CO₂ à medida que o potencial hídrico foliar decresce. Essa redução na condutância mesofilica 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.

Pesquisando parâmetros fisiológicos em plantas de *Coffea arabica* L. sob deficiência hídrica, Rodrigues (1988) atribui a inibição da taxa fotossintética à resistência mesofilica, uma vez que na condição imposta diminuiu-se a evolução do 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 fatos 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 uma maneira geral responde a essa condição de estresse. Estudos feitos com cafeeiros sob baixa disponibilidade hídrica têm relatado uma diminuição (DaMatta et al., 2000a e b; DaMatta, 1995, 1991), ou nenhuma alteração (Lima, 2001; DaMatta et al., 2003), na condutância estomática, em resposta a baixos potenciais hídricos das folhas.

No Brasil a cafeicultura tem sido conduzida a pleno sol, geralmente com maiores produtividades que à sombra, desde que a disponibilidade hídrica do solo não seja um fator limitante (DaMatta, 1995). Pequenas reduções na disponibilidade hídrica provocam menor emissão de nós disponíveis para a florada, diminuindo a produção de frutos, mesmo quando não são observados sintomas visíveis do estresse hídrico, como murcha das folhas.

Em relação à parte vegetativa, a deficiência hídrica afeta significativamente a área foliar específica nessa espécie, podendo ser observadas reduções de até 20% em *Coffea arabica* L. (DaMatta, 1991). Outros parâmetros relacionados ao crescimento vegetativo, como altura da planta, diâmetro do colo, número de ramos plagiotrópicos, matéria seca de raízes e parte aérea, também são influenciados pela disponibilidade hídrica, apresentando maiores valores em condições de maiores lâminas de água (Vilela et al., 2002; Gervásio & Lima, 1998). Por outro lado, Barros et al. (1997) estudando a fenologia do cafeeiro na região de Viçosa, MG, atribuíram a queda e paralisação do crescimento vegetativo durante os meses de inverno somente a baixas temperaturas, uma vez que o padrão de crescimento das plantas, nos lotes irrigados e não irrigados, não diferiu.

Atividade da enzima redutase do nitrato em cafeeiro tem sido constantemente pesquisada. Carelli & Fahl (2000), estudando o crescimento, assimilação do carbono e do nitrogênio em plantas jovens de cafeeiro em três condições de luz, pleno sol, 50 e 70% de sombreamento, constataram uma diminuição da atividade enzimática com o aumento da radiação solar. Em estudo realizado por Carelli et al. (1990), maior atividade da redutase do nitrato foi observada em plantas suplementadas semanalmente com nitrogênio independentemente do regime de radiação, a pleno sol ou com 50% de sombreamento. Já nas plantas sem suplementação de nitrogênio e sob pleno sol, a atividade da enzima foi reduzida.

Decréscimos nos valores de potencial hídrico nas folhas de *Coffea arabica* L. reduziram continuamente a atividade da redutase do nitrato, atingindo os menores valores em potencial de -3,0 MPa. A estreita correlação entre o potencial hídrico foliar e essa enzima, associada a sua alta sensibilidade à desidratação, sugerem o uso da atividade da redutase do nitrato como um parâmetro na avaliação do efeito do déficit hídrico em cafeeiro (Rodrigues, 1988).

Apesar de a cafeicultura ser conduzida a pleno sol, as mudas são produzidas em viveiro sob condições de sombreamento, exigindo a prática de transplante durante a implantação da lavoura. Dessa maneira, quando transferidas para o campo, as mudas sofrem estresse por serem submetidas a maiores intensidades luminosas, como consequência, ocorre saturação do aparato fotossintético, acarretando-lhes severa fotoinibição, a qual pode ser potencializada por deficiência hídrica e extremos de temperatura (Nunes et al., 1993).

Embora seja tradição entre os viveiristas a utilização de ambientes sombreados no processo de formação de mudas, alguns produtores vêm adotando a prática de produção a pleno sol. Essa prática tem como principal objetivo a produção de mudas mais adaptadas e tolerantes às condições ambientais do local de implantação da lavoura. Porém, ao produzir mudas sob pleno sol, existe a dificuldade de manter o solo com teores de umidade ideais para o adequado crescimento e desenvolvimento das mudas. Dessa maneira, o uso da irrigação torna-se freqüente e necessário, mas fica restrito em locais de difícil acesso à água. Em contrapartida, a produção de mudas a pleno sol elimina os custos de construção do viveiro, viabilizando o processo produtivo para produtores que não formam mudas todos os anos, como os viveiristas profissionais.

Avaliando o comportamento de mudas formadas a 0, 30, 50 e 90% de sombreamento, Paiva (2001) observou que as características avaliadas para o crescimento das mudas, tais como a altura das plantas, a área foliar e o número de pares de folhas, apresentaram os maiores valores a 50% de sombreamento e os menores valores para as mudas formadas a pleno sol. As análises de biomassa das mudas tanto de parte aérea como de raiz mostraram menores valores com 0% e os maiores valores com 90% de sombreamento, sugerindo que as mudas produzidas com 90% de sombreamento possivelmente convertem os fotoassimilados em reserva para as plantas, porém diminuem a altura e a emissão de pares de folhas. As mudas formadas a 50% de sombreamento apresentaram as maiores taxas fotossintética e transpiratória e os menores valores de condutância estomática, já as mudas formadas a pleno sol denotaram respostas contrárias nessas características.

No mesmo trabalho, o autor avaliou, no campo, o comportamento das mudas formadas em diferentes níveis de sombreamento e observou que para as características altura e número de ramos plagiotrópicos, diâmetro do caule, matéria seca da parte aérea e raiz, o tratamento 50% de sombreamento mostrou-se superior aos demais tratamentos empregados. Diante dos resultados obtidos, o autor concluiu que as mudas formadas em níveis médios de sombreamento apresentaram melhor crescimento ao serem simuladas condições de campo, sendo, portanto, as mais indicadas para o plantio.

2.3 O glyphosate no controle de plantas invasoras

As perdas em produtividade das culturas em função da competição exercida por plantas daninhas foram estimadas em 25% da produção agrícola do país. O uso de herbicidas é o método mais eficiente no controle de plantas daninhas, e quando se trata de grandes áreas, o mais econômico (Marochi, 1993).

O glyphosate é um herbicida sistêmico, não seletivo, de ação total e amplo espectro, que controla plantas mono e dicotiledôneas anuais e perenes. Por ser facilmente translocável, provoca a morte do sistema radicular e de estruturas reprodutivas das plantas (Kruse et al., 2000). Amplamente utilizado em pós-emergência de plantas daninhas, ou pré-emergência das plantas cultivadas, é rapidamente adsorvido ao solo não possuindo ação residual (Ahrens, 1994; Franz et al., 1997; Rodrigues & Almeida, 1998).

A molécula do glyphosate foi obtida em 1950, pela indústria Suíça Cilag/Ciba, mas somente no início dos anos 70 cientistas da empresa Monsanto descobriram suas propriedades herbicidas. No ano de 1974 foi comercializada a primeira marca comercial, e dois anos após já havia no mercado mais de 90 herbicidas com este princípio ativo.

No Brasil, o glyphosate tem sido formulado como sal isopropilamina (IPA) ou sal monoamônio (MAM). É fato que estas diferentes formulações apresentam baixa toxicidade para mamíferos, pássaros, peixes, insetos e a maioria das bactérias, pois estes organismos não possuem a enzima alvo da ação do herbicida (Ahrens, 1994; Franz et al., 1997; Rodrigues & Almeida, 1998), o que facilita sua comercialização em larga escala. Pode-se ainda considerar que o uso do controle químico cresceu exponencialmente devido à expansão da fronteira agrícola brasileira (Alves, 1999).

Todavia, a grande maioria das plantas cultivadas apresenta sensibilidade ao glyphosate, limitando, dessa maneira, seu uso em pós-emergência, mas a

obtenção de culturas resistentes ao herbicida tem potencializado o seu uso no controle de plantas daninhas nessas culturas.

Um exemplo típico de tolerância ao glyphosate é a soja; entretanto, a planta apresenta a resistência, enquanto os simbioses fixadores de nitrogênio existentes nos nódulos das raízes não toleram a ação do herbicida. King et al. (2001), avaliando o crescimento e a fixação biológica de nitrogênio em plantas de soja tolerantes ao glyphosate com pulverização foliar do herbicida, observaram que a aplicação feita aos cinco e dez dias após a emergência (DAE) retardou a fixação de nitrogênio e reduziu a biomassa e o acúmulo de nitrogênio ao 19 (DAE), entretanto as plantas recuperam-se aos 40 (DAE).

A ação da molécula herbicida ocorre através da inibição da enzima enolpiruvil shiquimato fosfato sintase (EPSPs), e o seu princípio ativo é a molécula N-(fomonometil) glicina (glyphosate).

A enzima 5-enolpiruvilshiquimato 3-fosfato sintase (EPSPs, E. C. 2.5.1.19) é a sexta enzima no ciclo do shiquimato, sendo essencial para a formação de aminoácidos aromáticos e quase todos os outros compostos aromáticos presentes nas plantas. Como o glyphosate inibe a ação da enzima, a síntese desses aminoácidos é bloqueada, acumulando um composto intermediário chamado shiquimato.

A EPSPs catalisa a reação do shiquimato-3-fosfato (S3P) e fosfoenolpiruvato (PEP), produzindo 5-enolpiruvilshiquimato-3-fosfato (EPSP) e fosfato inorgânico (Pi). Essa reação ocorre em duas etapas: inicialmente a enzima se liga ao S3P, formando o complexo EPSPs-S3P, e posteriormente o PEP se liga a esse complexo, dando prosseguimento à reação, formando o EPSP. O glyphosate se liga ao complexo EPSPs-S3P, impedindo a ligação do PEP, formando o complexo inativo EPSPs-S3P-glyphosate.

A quantidade de shiquimato acumulada pela desregulação da rota representa um forte dreno de carbono no ciclo de calvin, pois desvia a eritrose-4-

fosfato que seria empregada na regeneração da ribulose bisfosfato, principal enzima do ciclo C3. Esse é um efeito secundário muito importante da inibição do glyphosate, pois reduz drasticamente a produção fotossintética da sacarose, o que limita a translocação do herbicida, por volta do segundo dia após sua absorção (Franz et al., 1997; Geiger & Bestman, 1990).

O controle de plantas daninhas com o uso de herbicidas não seletivos tornou-se uma prática extremamente difundida nas lavouras, sendo quase uma rotina obrigatória entre os agricultores. Durante as aplicações é comum a ocorrência de deriva acidental, que se torna um problema, pois além de afetar o desenvolvimento da planta, reduz a eficácia da aplicação. O problema pode ser agravado em condições de vento ou outras condições ambientais que favoreçam a volatilização e posterior deposição foliar do herbicida aplicado (Wall, 1994).

Magalhães et al. (2001a), trabalhando com sub-doses de glyphosate nas concentrações de 2, 4, 6, 8 e 12% da recomendada, simulando uma deriva na cultura do milho, observaram que o maior grau de danos ocorreu na dose de 12% da recomendada, provocando cerca de 40% de injúrias nas plantas pulverizadas com o herbicida. Essa mesma dose também afetou o rendimento final, com reduções de 11% no peso das espigas e dos grãos. Em trabalho semelhante desenvolvido com sorgo, Magalhães et al. (2001b) observaram ser essa uma cultura mais sensível à ação do herbicida glyphosate. As plantas pulverizadas com doses de 12% da recomendada apresentaram necrose da parte aérea, o que comprometeu a produtividade de grãos.

Na cafeeicultura, a infestação da área cultivada por plantas daninhas pode reduzir em até 36% a produção, além de afetar a qualidade de bebida (Foloni, 2000). Em Minas Gerais, esta cultura representa cerca de 50% da produção nacional, e a região Sul destaca-se como a maior produtora estadual, com 360,9 mil hectares e uma produtividade média de 15,7 sacas beneficiadas por hectare. Do total de produtores da região, 56,4% fazem uso de métodos

combinados para o controle das invasoras, ou seja, combinam a capina manual com a mecânica e a química (Pereira & Romaniello, 2000). Devido seu amplo espectro de controle de plantas daninhas, principalmente gramíneas, um dos herbicidas mais empregados pelos cafeicultores que fazem uso do controle químico é o glyphosate (Souza, 2001).

Estudando o efeito de nove produtos e combinações existentes no mercado, pulverizados em plantas de cafeeiro atingidas por deriva do herbicida glyphosate, Garcia (2001) constatou que o uso de açúcar a 2%, pulverizado por três vezes consecutivas, apresentou os melhores desempenhos na recuperação das plantas atingidas.

2.4 Pulverização do cafeeiro com produtos orgânicos

Recentemente, tem sido comum a pulverização da lavoura cafeeira com produtos orgânicos. De acordo com os fabricantes, estas soluções que podem conter açúcar, aminoácidos, ácido salicílico, ácidos nucleicos, hormônios ou reguladores de crescimento vegetal, entre outros, apresentam efeitos positivos sobre o rendimento devido a sua atuação na fisiologia das plantas, especialmente sob condições de estresse. Em adição a esses produtos, tem-se empregado também a pulverização da lavoura cafeeira com soluções de sacarose na forma de açúcar de cozinha ou melaço (Mangini et al., 1998).

Os estudos iniciais com a prática da pulverização de açúcar suplementado com agroquímicos se deram na década de 60, na Costa Rica, com o intuito de aumentar a tolerância das mudas de cafeeiro à seca (Carvajal & Pereira, 1989). Os estudos envolvendo esta prática têm relatado que além de manutenção da turgescência, a aplicação de açúcar nas folhas de cafeeiro evita a queda de flores, aumenta a taxa de crescimento e a produção de flores, bem como provoca uma redução da abertura estomática (Chaves, 1986).

Com o intuito de diminuir as perdas em função da desidratação ocasionada pelo transplante, mudas de cafeeiro foram pulverizadas com solução de sacarose a 10% (Carnaval & Perera, 1960), sendo uma única pulverização, dois a três dias antes do transplante, efetiva na resistência à seca. Em estudo semelhante, Figueroa (1959; 1960) detectou uma redução significativa do número de folhas e uma menor abertura estomática nas mudas que receberam sacarose antes do transplante, tornando-as, assim, mais adaptadas à seca.

Estudando a aplicação foliar de boro e sacarose, Rophete (1965) observou que nas plantas que receberam aplicações de boro houve um aumento na taxa de crescimento, enquanto as plantas pulverizadas com sacarose mostraram uma tendência de diminuição dessa taxa. O autor relata, ainda, que os melhores resultados para a pulverização de sacarose foram obtidos da combinação do açúcar a 7,5% com boro 50 ou 100 ppm. Portanto, a pulverização do cafezal com açúcar visando aumentar a produtividade tem sido um assunto controverso.

No Brasil, a primeira pesquisa com aplicação foliar de sacarose foi realizada por Segura Monge (1989), o qual avaliou o efeito da aplicação dessa solução sobre a transpiração, potencial hídrico e teores de nitrogênio, potássio e açúcares solúveis totais em mudas de cafeeiro submetidas a deficiência hídrica. Nessas condições, o autor observou que os teores de açúcares solúveis totais das folhas diminuíram com o aumento da concentração de sacarose aplicada. Por outro lado, os valores de potencial hídrico foliares aumentaram, enquanto houve diminuição da transpiração, quando a solução de sacarose foi aplicada até a concentração de 10%. Com aplicações de sacarose em concentrações acima de 10%, houve efeito reverso nessas características.

Recentemente, Silva (2000) mostrou que a pulverização de mudas de cafeeiro com solução de sacarose a 1% aumentou a fotossíntese, os teores endógenos de carboidratos e a atividade das enzimas invertases e sintase da

sacarose, nas plantas que se encontravam com baixos teores de reservas orgânicas. Em seguida, Livramento (2001) verificou que a pulverização de lavouras adultas com sacarose a 1% diminuiu a bienalidade da lavoura, aumentando sua produtividade no ano posterior.



3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Efeito da pulverização de mudas de cafeeiros com solução de sacarose no viveiro e/ou na casa-de-vegetação

Este experimento foi conduzido na área experimental do Setor de Fisiologia Vegetal, Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras – MG. Para tanto, utilizaram-se mudas de cafeeiro cv. Topázio com seis meses de idade, com seis a oito pares de folhas, provenientes de um viveiro comercial situado na cidade de Lavras, localizada na região sul do estado de Minas Gerais a 918 m de altitude, latitude 21°14' S e longitude 45°00 GRW. Inicialmente as mudas foram transplantadas para sacos plásticos de 20 cm x 25 cm contendo substrato na proporção 3:1:1 de terra, areia e esterco de galinha, os quais permaneceram em um viveiro com 50% de sombreamento (caracterizado por uso de tela de nylon, conhecida comercialmente por sombrite). Nesta condição, as mudas foram irrigadas diariamente com o intuito de manter o nível de água do solo próximo à capacidade de campo.

Após um período de quinze dias, correspondente ao estabelecimento das mudas nos novos recipientes, dividiu-se as mudas em dois lotes. O primeiro foi pulverizado com solução de sacarose a 4% acrescido do espalhante adesivo Agril – 320 a 0,05% a cada dois dias, durante um período de 10 dias, utilizando um pulverizador manual de 1,5 L. Cada planta recebeu, nas faces adaxial e abaxial das folhas, um volume de calda suficiente para que a mesma ficasse totalmente molhada, sem escorrimento. O segundo lote que serviu como testemunha foi pulverizado, nas mesmas condições e ocasiões, com água destilada.

Posteriormente à última pulverização, as mudas foram transferidas para casa-de-vegetação, com 0% de sombreamento, e divididas de acordo com os tratamentos especificados na Tabela 1. A unidade experimental foi composta de

seis plantas com três repetições dispostas em um delineamento experimental inteiramente casualizado.

TABELA 1: Descrição dos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Tratamentos			Denominação
Viveiro	Casa de vegetação	Água	
+S	+S	+	+ sacarose + sacarose, rega contínua
		-	+ sacarose + sacarose, suspensão da rega
	-S	+	+ sacarose – <i>sacarose</i> , rega contínua
		-	+ sacarose – <i>sacarose</i> , suspensão da rega
-S	+S	+	- sacarose + <i>sacarose</i> , rega contínua
		-	- sacarose + <i>sacarose</i> , suspensão da rega
	-S	+	- sacarose – <i>sacarose</i> , rega contínua
		-	- sacarose – <i>sacarose</i> , suspensão da rega

Na casa-de-vegetação, os dois lotes de mudas, pulverizados ou não com sacarose anterior à transferência (+S; -S), foram subdivididos em dois grupos, os quais foram pulverizados com sacarose ou água destilada a cada dois dias (+S+S; +S-S; -S+S; -S-S). Em seguida, a metade das mudas de cada grupo de plantas foi submetida a dois regimes hídricos: rega contínua e suspensão da rega, onde permaneceram por onze dias, em função do número de mudas disponíveis.

Para a caracterização das condições de umidade relativa do ar e temperatura dentro da casa-de-vegetação durante o período experimental, foram feitas observações com o auxílio de um termoigrógrafo (FUESS), apresentadas na Figura 1.

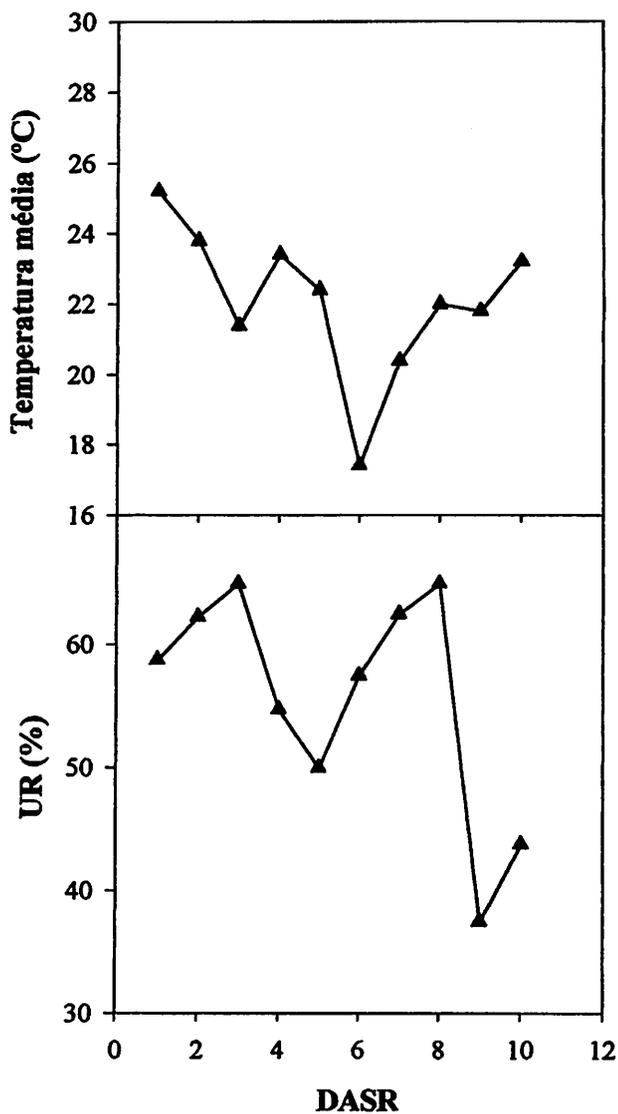


FIGURA 1. Médias de temperatura e umidade relativa dentro da casa-de-vegetação durante o período experimental, caracterizado por dias após a suspensão da rega (DASR). UFLA, Lavras, MG, 2003.

3.1.1 Potencial hídrico e trocas gasosas

A avaliação do potencial hídrico antemanhã (ψ_w máximo) foi realizada em folhas do terceiro ou quarto par totalmente expandidas, presentes no ramo ortotrópico de três mudas a zero, dois, quatro, seis, oito e dez dias após a transferência para a casa-de-vegetação, com o uso da bomba de pressão (Scholander et al., 1965).

Imediatamente após cada avaliação do potencial hídrico, três mudas pertencentes ao grupo da suspensão da rega foram irrigadas e 24 horas após determinou-se o potencial hídrico com o intuito de avaliar a capacidade de recuperação.

A taxa de fotossíntese líquida (A), transpiração (E), condutância estomática (gs), concentração interna de CO_2 (C_i), densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA), temperatura foliar (Tf) e da cubeta (T) e umidade relativa (UR) foram avaliadas a zero e dez dias de permanência na casa-de-vegetação, entre 10 e 11 horas da manhã, com o auxílio do analisador portátil de CO_2 a infravermelho (IRGA), modelo ADC-LCA-4 (Hoddesdon, UK), utilizando a primeira folha do par totalmente expandido do ápice para a base do ramo ortotrópico de três mudas por tratamento. Com os dados de umidade relativa e temperatura da cubeta, obtiveram-se os valores de déficit de pressão de vapor (DPV) da atmosfera da cubeta.

3.1.2 Características bioquímicas

A zero, dois, seis e dez dias após a transferência das mudas para a casa-de-vegetação, utilizaram-se as folhas em que foi determinado o potencial hídrico para as análises bioquímicas e as folhas do lado oposto para análise da invertase. Para tanto, as folhas foram lavadas em água corrente e água destilada, e posteriormente foram secas com papel absorvente. Amostras de 0,5 g, sem as nervuras centrais, foram congeladas em nitrogênio líquido e posteriormente

armazenadas em freezer a - 20°C, para análises de açúcares e amido, e em freezer a - 80°C para as análises da atividade das invertases.

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

As amostras do tecido foliar foram maceradas em nitrogênio líquido contendo Polivinilpirrolidona (PVPP) a 10% (p/v), com posterior adição de 4 mL de água destilada. Após a homogeneização, o extrato foi centrifugado a 11.000 x g por 20 minutos, a 4°C. Em seguida, os sobrenadantes foram coletados em frascos previamente identificados. Os pellets foram ressuspensos em 2 mL de água destilada 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, acrescentaram-se 2 mL do preparado da enzima amiloglicosidase, 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 25 mL com água destilada e foram congelados para posterior quantificação de amido.

Extração para determinação da atividade das invertases solúveis e insolúveis

Para a extração das invertases, seguiu-se o protocolo descrito por Fries (2003), com modificações. Um grama de folha, sem a nervura central, foi macerado em nitrogênio líquido acrescido de PVPP a 10% (p/v), ácido ascórbico 50 mM e areia lavada. Posteriormente, adicionaram-se 5 mL do tampão de

extração HEPES 100 mM, pH 7,5 contendo Parametil Sulfonilfluoreto (PMSF) 1 mM, Ditioneitol (DTT) 1mM, EDTA 1mM e cloreto de magnésio ($MgCl_2$) 5 mM. Após centrifugação a 11.000 x g por 20 minutos a 4°C, o sobrenadante foi coletado para determinação das invertases ácida do vacúolo e neutra do citossol.

Quantificação de açúcares redutores

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

Quantificação de açúcares solúveis totais e de amido

Para a quantificação dos açúcares solúveis totais e de amido, utilizou-se o método de Yemm & Cocking (1954).

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.

Atividade das invertases

Para a realização do ensaio da invertase neutra do citossol, adicionaram-se 400 μ L do extrato enzimático em 600 μ L de tampão HEPES 100 mM, pH 7,5, composto de sacarose 200 mM e $MgCl_2$ 5 mM. Em seguida, incubaram-se as amostras em banho-maria a 35°C, durante 40 minutos, após o que a reação foi paralisada mediante transferência dos eppendorfs para nitrogênio líquido.

O ensaio da invertase ácida do vacúolo seguiu as condições descritas acima, com a substituição do tampão de incubação para citrato de sódio 200 mM, pH 4,8. As atividades invertásicas foram determinadas pela quantificação dos açúcares redutores (Miller, 1959).

Atividade da enzima redutase do nitrato

Para quantificar a atividade da redutase do nitrato *in vivo*, seguiu-se o protocolo descrito por Queiroz et al. (1993), com modificações. Amostras de discos foliares com diâmetro de um centímetro, sem a nervura central, pesando aproximadamente 500 mg de matéria fresca, foram retiradas com o auxílio de um perfurador e alocadas em tubos de ensaio contendo meio de incubação. Esse meio era composto por tampão fosfato de potássio 200 mM, pH 7,5 + n-propanol 100% + triton X-100 0,1% + nitrato de potássio 1 M. Imediatamente após a introdução das amostras foliares, os tubos foram submetidos a vácuo de 650 mm Hg, por 1 minuto, após o que introduziu-se o ar e, novamente, vácuo por 1 minuto. Em seguida, os tubos de ensaio foram envoltos em papel alumínio e imersos em banho-maria a 30°C. Após 40 minutos de incubação, alíquotas de 0,5 mL foram retiradas das amostras para determinação da atividade da enzima. A quantificação do nitrito foi feita pela reação com 1 mL de sulfanilamida 1% em HCl 1,5 N e 1 mL de dicloridrato de N-1-nafiletileno diamina 0,02%. As absorbâncias foram determinadas a 540 nm e a atividade da enzima foi expressa em $\mu\text{mol de NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ MF h}^{-1}$.

3.2 Efeito da pulverização de plantas de cafeeiros com solução de sacarose a fim de prevenir injúrias pelo glyphosate

Este experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em São Sebastião do Paraíso, MG. Para tanto, utilizaram-se cafeeiros de quatro anos de idade da cultivar Catuaí Vermelho IAC 99, conduzida no espaçamento de 3,0 x 0,5 m.

A lavoura está implantada em um Latossolo Vermelho distroférrico (9LVd), com declividade média de 8% em uma altitude de 890 metros. As médias de temperatura e precipitação anual da região no período estudado foram de 20,80 °C e 1470 mm, respectivamente.

No dia 28 de novembro de 2002, pulverizou-se um talhão de plantas com Roundup WG (glyphosate) na concentração de 1,5 kg ha⁻¹, utilizando-se um pulverizador costal com capacidade para 20 litros, equipado com bico injetor de jato dirigido, atingindo toda a copa das plantas. Nesta mesma ocasião um segundo talhão foi pulverizado com solução de sacarose a 2% acrescida de espalhante adesivo Agril – 320 a 0,05%. Um terceiro talhão que não recebeu nenhuma pulverização foi mantido como testemunha.

Em seguida, as plantas do primeiro talhão foram pulverizadas com a mesma solução de sacarose aos: 1; 7; 7 e 14; 7, 14 e 21; 7, 14, 21 e 28 dias após a aplicação do herbicida.

A documentação fotográfica foi realizada cinco meses após a aplicação do herbicida, em abril de 2003, e as avaliações do vigor vegetativo foram feitas nos dias 17 de dezembro de 2002, 22 de janeiro de 2003 e 17 de junho de 2003, numa escala variando de 0 a 10, em parcelas de 10 plantas, repetidas em três vezes dentro de um delineamento experimental de blocos ao acaso.

4 Resultados e Discussão

4.1 Efeito da pulverização de mudas de cafeeiros com solução de sacarose no viveiro e/ou na casa-de-vegetação

4.1.1 Microclima

Durante o período experimental a densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) variou entre 870 a 1130 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, às 11 horas da manhã. O déficit de pressão de vapor (DPV) aumentou progressivamente de 1,2 kPa no início das avaliações para 3,9 kPa ao final do período de avaliação, às 11 horas da manhã (Figura 2).

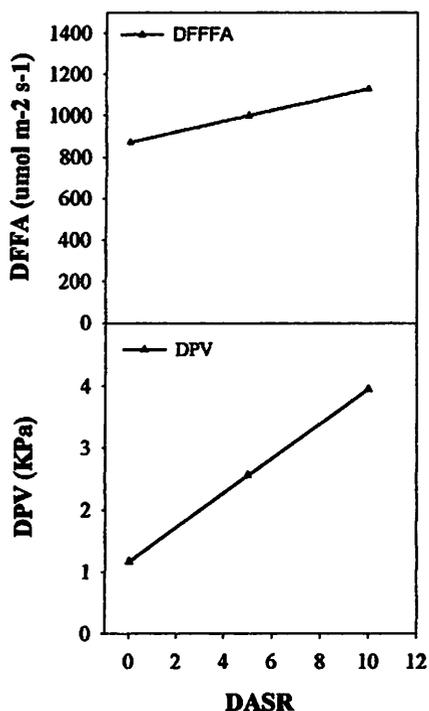


FIGURA 2. Déficit de pressão de vapor (DPV) e densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) durante o período experimental, caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). Cada ponto representa a média de 24 repetições. UFLA, Lavras, MG, 2003.

4.1.2 Potencial hídrico Foliar

Com o decorrer do período experimental, observaram-se quedas no potencial hídrico das mudas irrigadas diariamente (Figura 3), as quais foram mais acentuadas ao final do período de avaliação. Como as mudas foram irrigadas no período da manhã, houve, no decorrer do dia, perdas de água em função da transpiração. O aumento na demanda evaporativa da atmosfera pode ter causado maiores taxas de transpiração durante o dia e, conseqüentemente, os menores potenciais hídricos foliares ocorridos ao final do período de avaliação (Figura 2).

As mudas que sofreram déficit hídrico devido à suspensão da rega, em condições de casa-de-vegetação, apresentaram queda do potencial hídrico com padrões diferenciados, em função das pulverizações com açúcar (Figura 3). Aquelas que não receberam este elemento (-S-S) tiveram redução constante desta característica, atingindo valor de -2,1 MPa ao final do período experimental.

As mudas que receberam a pulverização somente no viveiro (+S-S) também apresentaram uma queda constante, porém com menor intensidade, sendo que o valor final atingiu -1,5 MPa. Por outro lado, a pulverização apenas na casa-de-vegetação (-S+S) propiciou pequenas reduções no potencial hídrico até o sexto dia, observando-se um valor de -0,8 MPa nesta ocasião. A partir daí houve uma queda repentina, atingindo -3,3 MPa no décimo dia.

Ao contrário deste tratamento, quando o açúcar foi pulverizado no viveiro e na casa-de-vegetação (+S+S), a queda do potencial hídrico ocorreu na fase inicial de experimentação, caindo de -0,45 MPa para -1,30 MPa, do segundo ao quarto dia, permanecendo mais ou menos inalterado com valor de -1,5 MPa até o final das avaliações. De uma maneira geral, estes resultados sugerem que a pulverização de açúcar em mudas no viveiro, antes de serem transferidas para a casa-de-vegetação, ou na casa-de-vegetação após a transferência, torna-as mais tolerantes à ocorrência de um período de deficiência hídrica.

Os efeitos benéficos da pulverização com açúcar em mudas de cafeeiro com insuficiência hídrica também já foram reportados por Segura Monge (1989). Esse autor relatou que a aplicação de sacarose em concentrações de no máximo 10% promoveu um maior potencial hídrico das folhas em plantas estressadas. Provavelmente essa resposta estaria associada à redução da perda de água pela transpiração em função da barreira física formada pela deposição da solução de sacarose nas folhas. Em contribuição a estes resultados, Chaves (1986) relatou que a pulverização com açúcar em mudas de cafeeiro antes da

transferência do viveiro para o campo é uma prática antiga muito empregada na Costa Rica, a qual tem como objetivo evitar as perdas de água causadas pela transpiração, dessecação do solo e vento.

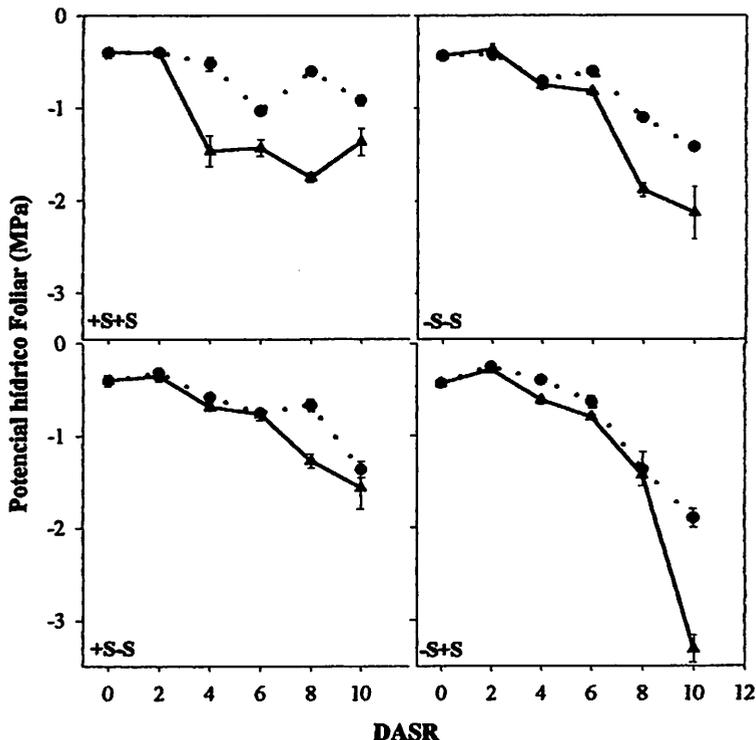


FIGURA 3. Potencial hídrico foliar em mudas de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação), com a rega contínua no viveiro e na casa-de-vegetação (●) e suspensão da rega na casa-de-vegetação (▲), durante o período experimental caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Ao longo da imposição do déficit hídrico, um lote de plantas foi irrigado a cada dois dias com o intuito de verificar a influência da pulverização com açúcar na recuperação do potencial hídrico foliar das plantas. Desse modo, constatou-se que a pulverização com açúcar no viveiro e na casa-de-vegetação

(+S+S) foi o tratamento que permitiu a melhor recuperação do potencial hídrico após a re-irrigação, observando-se, durante todo o período experimental, os maiores valores de recuperação, isto é, a diferença entre os potenciais hídricos em que se encontravam as plantas vinte e quatro horas após e no momento da re-irrigação. É importante destacar que os demais tratamentos, nos quais as plantas receberam sacarose somente no viveiro (+S-S) ou na casa-de-vegetação (-S+S), também favoreceram a retomada da turgescência quando comparadas com as plantas que não receberam a sacarose em nenhum momento (-S-S). Esta observação pode ser constatada pelos maiores valores de potenciais hídricos apresentados por estas plantas ao final do experimento; as suas folhas estavam visivelmente túrgidas, ao contrário das que não receberam o açúcar, que demonstravam claramente o sintoma de murcha. (Figuras 4 e 5).

TABELA 2. Diferença entre os potenciais hídricos foliares vinte quatro horas após e no momento da re-irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Tratamento	Diferença de potencial (MPa)				
	2 dias	4 dias	6 dias	8 dias	10 dias
+S+S	0,00	+0,85	+0,3	+0,60	+0,20
+S-S	0,00	+0,10	+0,20	+0,30	+0,20
-S+S	0,00	+0,30	+0,10	+0,40	+1,30
-S-S	0,00	+0,20	+0,00	+0,50	+0,50

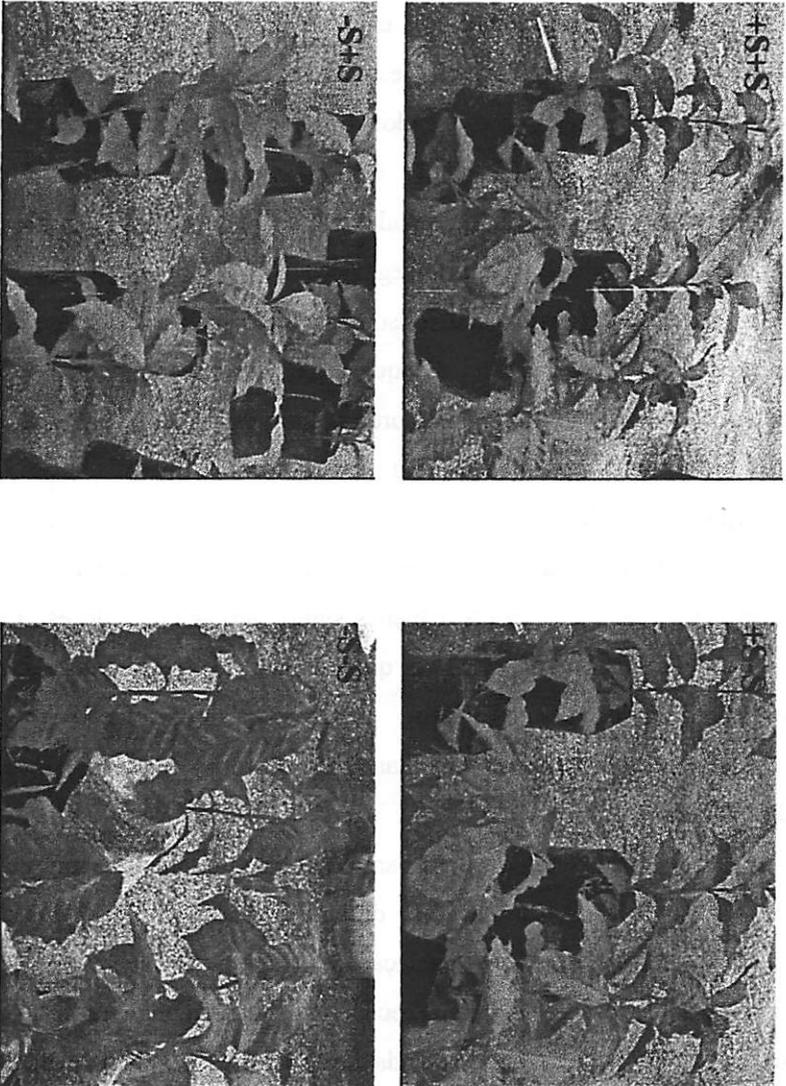


FIGURA. 4. Mudras de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação) e -S-S (sem pulverização de sacarose), a cada dois dias. Fotografias registram o décimo dia de suspensão da rega. UFPA, Lavras, MG, 2003.

4.1.3 Trocas gasosas

Observando os valores no tempo zero, verifica-se que, de maneira geral, as plantas pulverizadas com açúcar quando estavam no viveiro (+S+S; +S-S) apresentaram, na casa-de-vegetação, à exceção da concentração interna de CO₂, menores valores de condutância estomática, transpiração e fotossíntese comparados com aqueles apresentados pelas plantas que não receberam a sacarose (-S-S; -S+S) (Figura 6 e 7). Com a imposição do déficit hídrico na casa-de-vegetação, as plantas que vinham recebendo o açúcar no viveiro e continuaram recebendo na casa-de-vegetação (+S+S) apresentaram pequenas elevações nos valores dessas características, exceto para a transpiração, a qual permaneceu praticamente estável. E aquelas que na fase de suspensão da rega não mais receberam o açúcar (+S-S) apresentaram estabilidade na transpiração e condutância estomática, elevações na fotossíntese e queda considerável na concentração interna de CO₂. Por outro lado, ao contrário dessas plantas, aquelas que não receberam o açúcar no viveiro e que receberam ou não na casa-de-vegetação (-S-S; -S+S) sofreram reduções significativas nos valores, à exceção da concentração interna de CO₂, a qual aumentou. As plantas que foram continuamente irrigadas no viveiro e na casa-de-vegetação (Figura 7) apresentaram comportamento semelhante ao descrito para as plantas não irrigadas (Figura 6).

Esses resultados demonstram para essas características, a importância da pulverização das mudas com sacarose durante a fase de viveiro nos dias que antecedem a ida para a casa-de-vegetação. A melhor manutenção do potencial hídrico nas plantas (+S+S; +S-S) que receberam sacarose enquanto estiveram no viveiro (Figura 3) pode estar associada aos menores valores de condutância estomática e transpiração (Figura 6) durante a maior parte da experimentação.

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. Porém, os estômatos também respondem às variações no déficit de pressão de vapor (Barros et al., 1997). A diminuição da condutância estomática em função do aumento do DPV é um fato importante para a manutenção da homeostase do status hídrico durante o dia, apesar de possíveis reflexos negativos na taxa fotossintética. Reduções na abertura estomática em resposta a baixos potenciais hídricos foliares têm sido relatadas por diversos trabalhos e, em geral, evidenciam a relação com diminuições na transpiração e taxa fotossintética (DaMatta, 2003, 2000a, 1991; Oliveira, 1995), e o aumento na concentração interna de CO₂ (Kanechi et al., 1996; DaMatta, 1997, a e b).

A melhoria nas relações hídricas das plantas que foram pulverizadas com açúcar provavelmente deve estar associada à barreira física imposta pela deposição desse composto na superfície foliar. Esse fato pode ser constatado pelas menores temperaturas foliares observadas nessas plantas (Figura 8). Ainda que Alves (1985) tenha constatado que a fotossíntese potencial do cafeeiro tem capacidade de operar em temperaturas de 32^oC, Kumar & Tieszen (1976) verificaram que nesta temperatura a fotossíntese líquida sofre severa limitação imposta pelos estômatos. Os dados de fotossíntese encontrados no presente trabalho (Figura 6) corroboram esta afirmação.

As mudas que receberam rega diariamente apresentaram variações semelhantes às observadas nas que tiveram a rega suspensa, em todas as características descritas acima. Possivelmente, elas responderam às condições de aumento do DPV, ocorrido durante o período de avaliação, comprovando que a fisiologia das plantas foi altamente influenciada pelas condições ambientais, em que o experimento foi instalado.

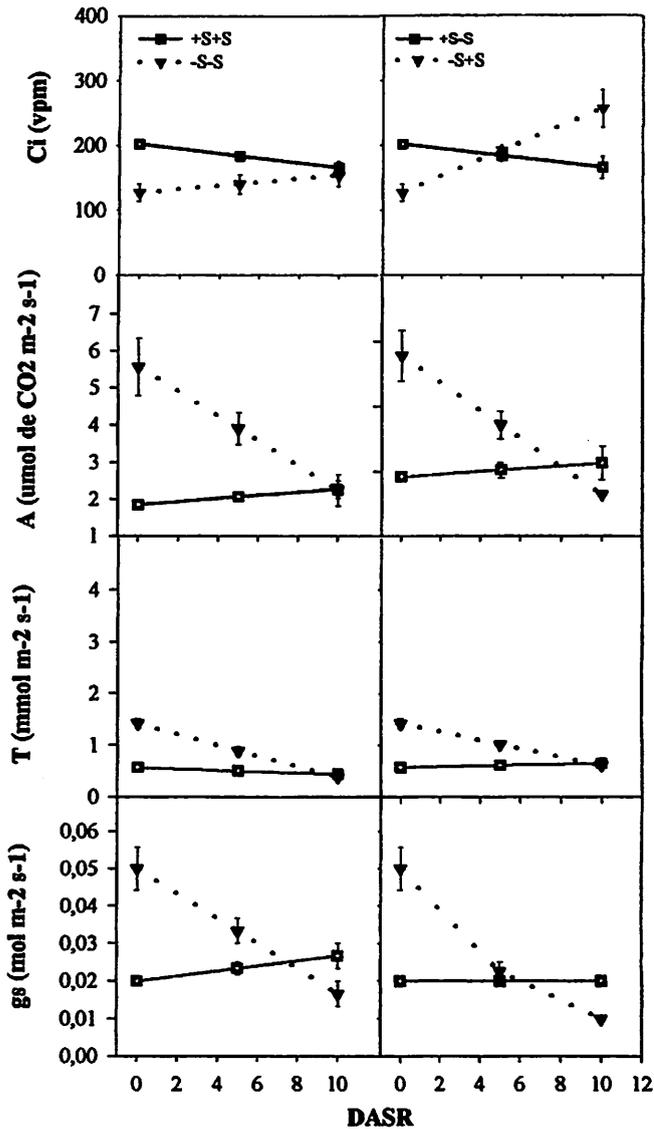


FIGURA 6. Condutância estomática (gs), transpiração (T), fotossíntese (A) e concentração interna de CO₂ (Ci) em folhas de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação) com suspensão da rega na casa-de-vegetação, durante o período experimental, caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições UFLA, Lavras, MG, 2003.

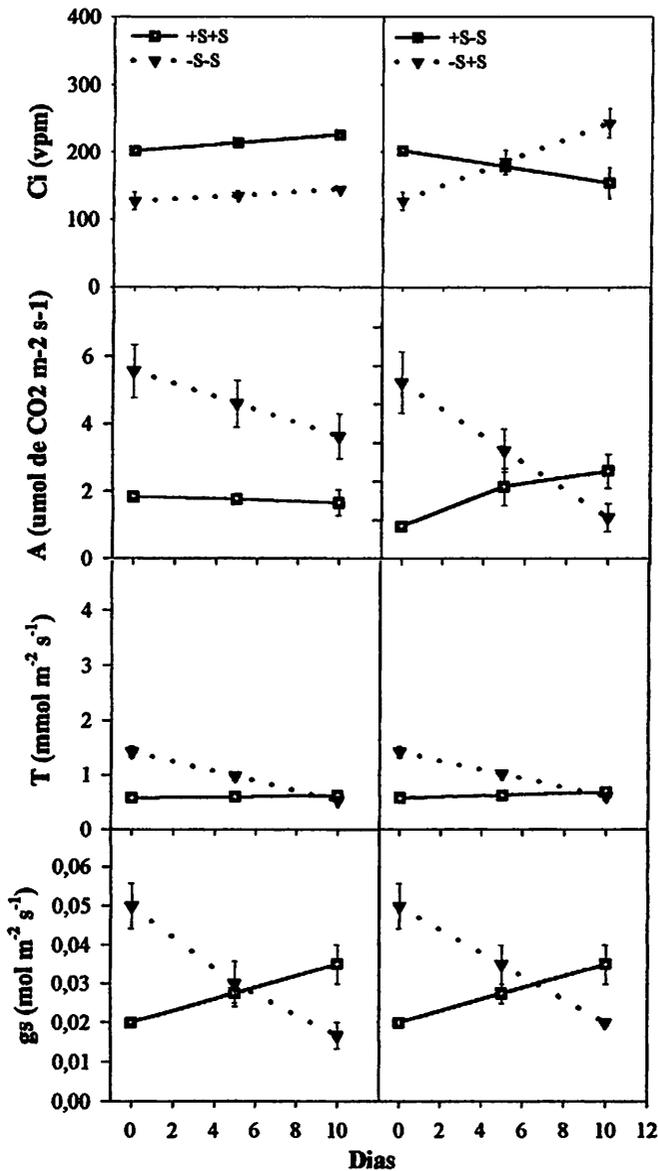


FIGURA 7. Condutância estomática (gs), transpiração (T), fotossíntese (A) e concentração interna de CO₂ (Ci) em folhas de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação) com rega contínua no viveiro e na casa-de-vegetação, durante o período experimental. As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições. UFLA, Lavras, MG, 2003.

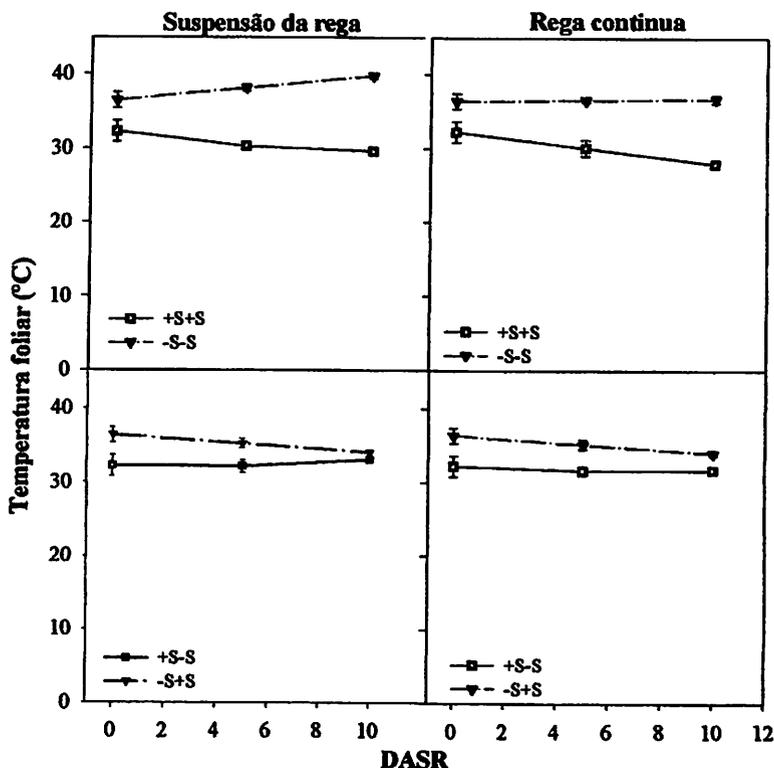


FIGURA 8. Temperatura foliar em mudas de cafeeiro, submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação), com a rega contínua no viveiro e na casa-de-vegetação e suspensão da rega na casa-de-vegetação, durante o período experimental caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições. UFLA, Lavras, MG, 2003.

4.1.4 Carboidratos

Observando os valores no tempo zero, isto é, no momento em que as plantas foram transferidas do viveiro para a casa-de-vegetação, verificar -se que, de maneira geral, as plantas pulverizadas com açúcar quando estavam alocadas no viveiro (+S+S; +S-S), apresentaram menores valores de açúcares redutores e solúveis totais, amido e sacarose comparados àqueles apresentados pelas plantas que não receberam a sacarose (-S-S; -S+S) (Figura 9). Esses baixos teores de

carboidratos provavelmente estão relacionados à menor taxa fotossintética apresentada pelas plantas pulverizadas com o açúcar (Figura 6). Com o decorrer do experimento, mais precisamente até o sexto dia, houve um aumento nas concentrações desses compostos, à exceção dos açúcares redutores, que permaneceram estáveis. A partir daí, até o final do período de avaliação, novamente estes valores caíram, sendo a queda mais pronunciada nos teores de amido.

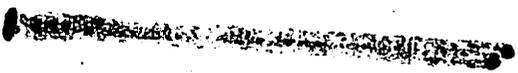
Quando são expostas a condições de deficiência hídrica, as plantas normalmente apresentam diminuição nos teores de amido e aumento dos teores de açúcares solúveis totais, principalmente sacarose, evidenciando, assim, uma alteração no metabolismo dos carboidratos em resposta ao déficit hídrico (Stancato et al., 2001; Pinheiro et al., 2001; Pelleschi et al., 1997). Essas alterações possivelmente têm relação com o potencial osmótico das células, uma vez que o amido é um soluto osmoticamente inativo e os açúcares são ativos osmoticamente. Entretanto, esse mecanismo afeta o acúmulo e o particionamento dos açúcares, alterando uma série de processos metabólicos que requerem esses compostos. Como as plantas que receberam a sacarose via foliar, pulverizadas na fase de viveiro (+S+S e +S-S), e as que receberam a solução somente na casa-de-vegetação (-S+S) não apresentaram estes comportamentos, pode-se sugerir que o uso do açúcar via folha proporciona um melhor escape à condição de estresse, evitando as citadas alterações no metabolismo dos carboidratos.

Por outro lado, as mudas que não foram pulverizadas com o açúcar em momento algum (-S-S) apresentaram, nos primeiros dias de suspensão da irrigação, um aumento nos teores de açúcares solúveis totais e concomitante diminuição dos teores de amido, indicando uma resposta imediata, no metabolismo do carboidrato, ao baixo potencial hídrico foliar (Figura 9). Ao final do experimento, os teores foliares de amido aumentaram em relação aos

iniciais, em todos os tratamentos sob deficiência hídrica. Uma vez que o amido foi quantificado em relação à matéria fresca, uma possível causa desse aumento seria os baixos potenciais hídricos foliares observados nesse período.

Resultados semelhantes foram verificados para as plantas que estavam continuamente irrigadas no viveiro e na casa-de-vegetação (Figura 10). Os teores de amido caíram ligeiramente no início do experimento, aumentando progressivamente até o final das avaliações em todos os tratamentos, à exceção do tratamento -S+S (pulverização do açúcar somente na casa-de-vegetação), enquanto os açúcares solúveis totais apresentaram padrão inverso. Nesse caso, sugere-se que a sacarose aplicada exogenamente nas plantas possa estar sendo sintetizada em amido. Iglesias et al. (2002), estudando plantas de citrus suplementadas com sacarose exógena, observaram um aumento no conteúdo de amido foliar, e de acordo com Paul & Foyer (2001), o amido foliar serve como um dreno transiente para alocar o excesso de carboidratos produzidos fotossinteticamente e que não podem ser transportados.

As atividades das enzimas invertase neutra do citossol (INC) e ácida do vacúolo (IAV) apresentaram padrões semelhantes nas mudas que foram submetidas a suspensão da rega, pulverizadas com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação (+S+S), e sem pulverização da sacarose (-S-S) (Figura 11). Com o início do déficit hídrico, houve um aumento na atividade das enzimas, sendo mais pronunciado para a IAV, em plantas que não receberam sacarose (-S-S), e para a INC, nas plantas que receberam sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação (+S+S). No decorrer das avaliações, as atividades enzimáticas caíram nos dois tratamentos. A ação conjunta dessas enzimas sugere uma possível participação na regulação osmótica das células em resposta à deficiência hídrica, uma vez que aumentos nas concentrações de solutos ativos osmoticamente são requeridos nessas condições. À semelhança dos resultados observados nesse trabalho, Pinheiro et al. (2001) observaram aumentos seguidos de decréscimos



na atividade destas enzimas em plantas de *Lupinus albus* L. submetidas ao déficit hídrico. Por outro lado, as atividades das invertases neutra do citossol e ácida do vacúolo foram significativamente reduzidas em orquídeas, nas mesmas condições de estresse (Stancato et al., 2001).

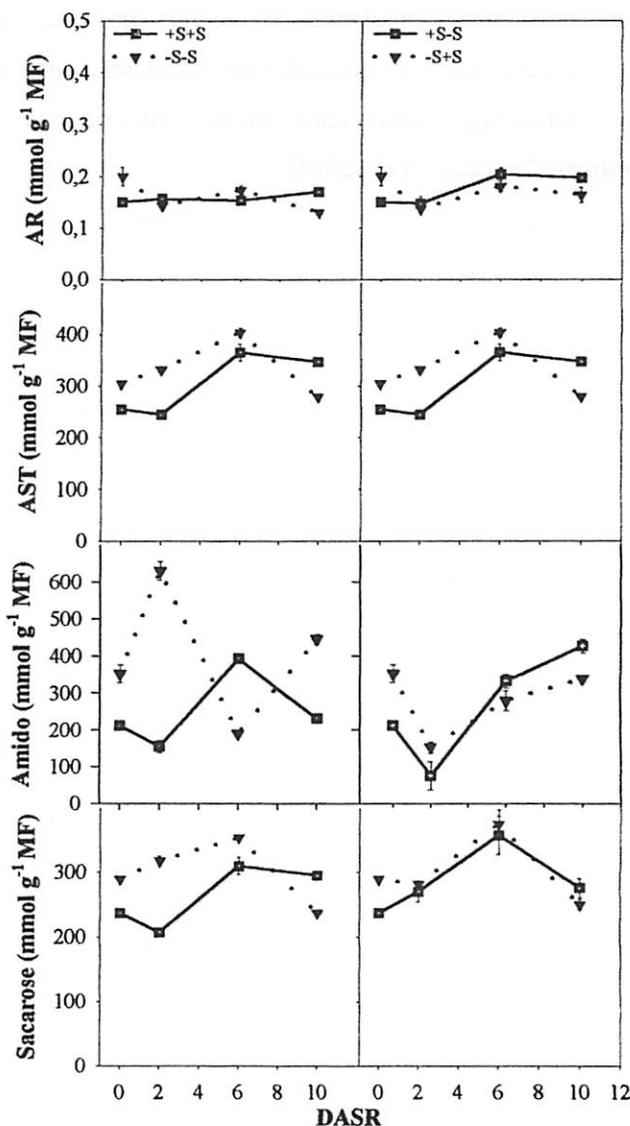


FIGURA 9. Teores de açúcares redutores (AR), açúcares solúveis totais (AST), amido e sacarose em folhas de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação) com suspensão da rega na casa-de-vegetação, durante o período experimental caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições UFLA, Lavras, MG, 2003.

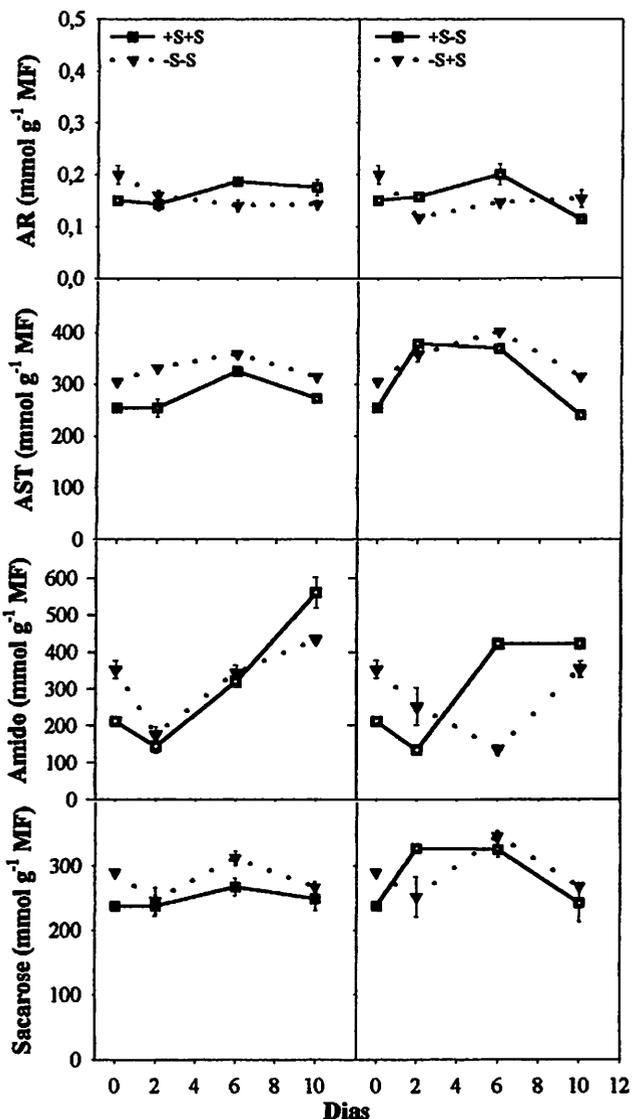


FIGURA 10. Teores de açúcares redutores (AR), açúcares solúveis totais (AST), amido e sacarose em folhas de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas na casa-de-vegetação) com rega contínua no viveiro e na casa-de-vegetação, durante o período experimental. As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições. UFLA, Lavras, MG, 2003.

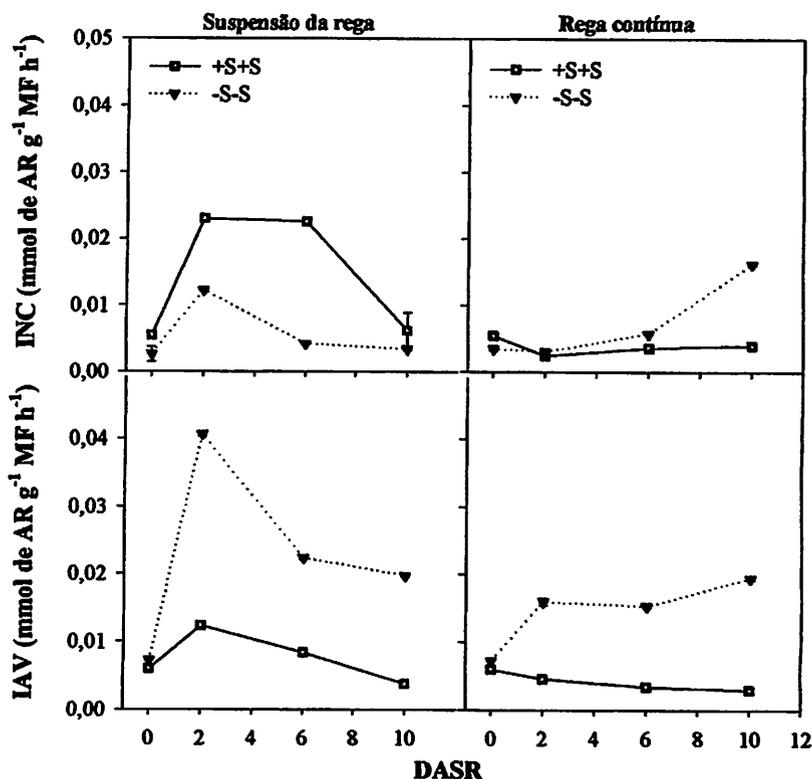


FIGURA 11. Atividade das invertases, neutra do citossol (INC) e ácida do vacúolo (IAV), em mudas de cafeeiro submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização da sacarose no viveiro e na casa-de-vegetação) e -S-S (sem pulverização da sacarose), com rega contínua no viveiro e na casa-de-vegetação (●) e suspensão da rega na casa-de-vegetação (▲), durante o período experimental caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). As pulverizações foram feitas a cada dois dias. As barras indicam o erro padrão da média de três repetições. UFLA, Lavras, MG, 2003.

4.1.5 Atividade da Redutase do Nitrato

De maneira geral, a atividade da redutase do nitrato não foi influenciada pela pulverização com açúcar e nem pelo regime hídrico adotado, nas condições em que o experimento foi implantado (Figura 12). A atividade dessa enzima apresentou padrão igualitário, observando-se um decréscimo até o quarto dia, e a partir daí permanecendo mais ou menos constante, com baixa atividade, até o final do experimento. Este comportamento foi reflexo da predominância das

condições ambientais. A alta atividade inicial refletia as condições de viveiro, em que as temperaturas estavam mais amenas, a umidade relativa em níveis adequados e um sombreamento de 50%. De acordo com Alves (1985) e Queiroz (1993), plantas jovens de cafeeiro apresentam elevadas atividades da redutase do nitrato em ambientes semelhantes a este. Com a mudança para a casa-de-vegetação, onde se observou, já no primeiro dia, nível de radiação de $900 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, que foi gradativamente aumentando (Figura 2), verificou-se uma significativa perda da atividade da enzima que, no caso particular, não foi amenizada pelo açúcar exógeno e nem pela água.

Reduções na atividade da redutase do nitrato em função de maiores níveis de radiação foram observados por Carelli & Fahl (2000). Esses autores também correlacionaram de forma negativa a atividade dessa enzima com a concentração de carboidratos foliares, uma vez que as plantas submetidas a maiores níveis de luz apresentavam maiores teores de carboidratos. Para que a enzima seja ativada, é necessária a presença de poder redutor NADPH ou NADH (Campbell, 1996). Uma vez que em maiores radiações esses compostos são menores, é possível que as baixas atividades da redutase do nitrato observadas no presente trabalho tenham correlação com esse fato.

Da mesma maneira, não foi observado uma influência da pulverização com sacarose na retomada da atividade da redutase do nitrato, vinte e quatro horas após o reinício da irrigação. Novamente aqui parece que o efeito ambiental foi determinante.

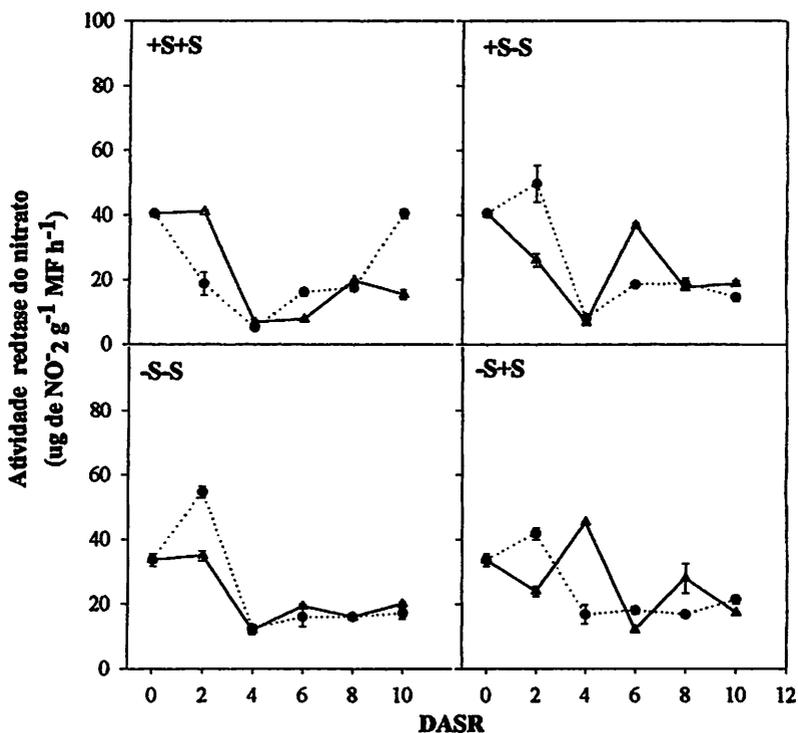


FIGURA.12. Atividade da enzima redutase do nitrato, em mudas de cafeeiro, submetidas aos tratamentos +S+S (pulverização com sacarose no viveiro e no campo), -S-S (sem pulverização de sacarose), +S-S (pulverização com sacarose apenas no viveiro), -S+S (pulverização com sacarose apenas no campo), com a rega contínua no viveiro e no campo (●) e suspensão da rega no campo (▲), durante o período experimental caracterizado por dias após suspensão da rega (DASR). As pulverizações foram feitas a cada dois dias. UFLA, Lavras, MG, 2003.

TABELA 3. Diferença entre as atividades da redutase do nitrato em folhas de cafeeiro vinte quatro horas após e antes da re-irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Tratamento	Diferença de atividade em ($\mu\text{g de NO}_2 \text{ g}^{-1} \text{ de MF h}^{-1}$)				
	2 dias	4 dias	6 dias	8 dias	10 dias
+S+S	-27	-2	+25	+48	+12
+S-S	-17	-4	+1	+59	+31
-S+S	-12	-39	+7	+52	+7
-S-S	-14	-10	+18	+50	+31

4.2 Efeito da pulverização de plantas de cafeeiros com solução de sacarose afim de prevenir injúrias pelo glyphosate em condições de campo

Nas três avaliações, as plantas que foram pulverizadas com glyphosate (G) obtiveram as menores notas para o vigor vegetativo. A aplicação de sacarose um dia após a deriva do herbicida (G+1D) melhorou ligeiramente o vigor das plantas, permanecendo, entretanto, as notas bem próximas às obtidas pelas plantas que receberam apenas o glyphosate (Tabela 4).

O efeito mais pronunciado da desintoxicação do glyphosate pela sacarose ocorreu quando essa foi aplicada sete dias após as plantas terem recebido a deriva do herbicida (G+7D). A pulverização com açúcar aos sete e quatorze dias (G+7,14D); sete, quatorze e vinte dias (G+7,14,21D); e sete, quatorze, vinte e um e vinte oito dias (G+7,14,21,28D) após a aplicação do glyphosate não foi tão eficiente quanto a pulverização aos sete dias (G+7D), porém provocou uma melhora no vigor das plantas maior que a observada pela aplicação do açúcar, um dia após a deriva do herbicida (G+1D).

As fotografias das unidades experimentais, tiradas em abril de 2003, cinco meses após implantação do experimento, corroboram os resultados de vigor vegetativo (Figuras 13, 14 e 15). Observa-se, nas plantas que receberam apenas o glyphosate (G), uma intensa desfolha, sendo que as poucas folhas restantes apresentavam um forte sintoma de intoxicação por esse herbicida, caracterizado por folhas pequenas, quebradiças, lanceoladas, cloróticas, aspecto coreáceo e, como resultado, do encurtamento dos internódios, uma roseta com folhas diminutas na ponta dos ramos. Esta intoxicação foi grandemente suprimida pela pulverização das plantas com solução de açúcar a 2%, sete dias após a deriva do herbicida (G+7D). Observa-se nessas plantas um bom nível de enfolhamento e ausência quase que completa dos sintomas de intoxicação pelo glyphosate.

A aplicação do açúcar um dia após a deriva do herbicida (G+1D) reverteu ligeiramente o efeito provavelmente pelo curto espaço de tempo entre o dano e a tentativa de recuperação. Por outro lado, a pulverização com açúcar a cada semana, durante quatro semanas consecutivas, proporcionou resultados muito superiores. Para estes tratamentos, observa-se uma menor desfolha e apenas poucas folhas com o sintoma de intoxicação pelo herbicida.

As menores notas de vigor vegetativo observadas no dia 17 de junho de 2003, nos tratamentos G+1D, G+7, e 14D, G+7,14 e 21D, G+7,14,21 e 28D, possivelmente foram em função da falta de chuva ocorrida nos meses que antecederam a avaliação.

Estes resultados demonstram a eficiência da pulverização com açúcar a 2% no processo de reversão da intoxicação pelo glyphosate, especialmente quando a pulverização ocorreu após uma semana da deriva do herbicida. Garcia (2001) observou que mudas de cafeeiro pulverizadas com três aplicações de açúcar, após a deriva do glyphosate, apresentaram desempenho superior em termos de acúmulo de matéria seca de raízes em comparação com outras substâncias.

Sabe-se que plantas intoxicadas com glyphosate apresentam bloqueio da síntese de aminoácidos aromáticos, provocando um acúmulo de shiquimato. Esse composto representa um forte dreno de carbono no ciclo de Calvin, pois desvia a eritrose 4-fosfato que seria empregada na regeneração da Rubisco, provocando reduções nas taxas fotossintéticas (Kruse, 2000). Uma vez que a aplicação de solução de sacarose em cafeeiro aumenta os teores de carboidratos nas folhas (Livramento, 2001), e essa quantidade de carbono extra estimula a fotossíntese em plantas com baixas reservas (Silva, 2000), é possível que, a aplicação foliar de açúcar nas plantas intoxicadas atue na manutenção da taxa fotossintética. Dessa maneira, a produção continuada dos fotoassimilados forneceria a energia necessária ao escape da condição de estresse pelo qual as

plantas são submetidas ao serem atingidas pela deriva do herbicida. Entretanto, tornam-se necessárias, em pesquisas futuras, maiores investigações desse efeito supressivo sobre os efeitos fitotóxicos do glyphosate.

TABELA 4. Avaliação do vigor vegetativo em três épocas após a aplicação dos tratamentos. As notas são médias de três avaliadores. UFLA, Lavras, MG, 2003.

Tratamentos (28/11/2003)	17/12/2002	22/01/2003	17/06/2003
Testemunha	8,2	8,0	9,0
Sacarose (S)	8,0	8,2	9,0
Glyphosate (G)	3,8	1,8	1,0
G+1D	3,8	2,2	1,8
G+7D	6,4	6,0	6,2
G+7,14D	4,2	3,6	1,2
G+7,14,21D	3,8	3,8	1,8
G+7,14,21,28D	4,0	2,8	1,4

Os números antes da letra D significam dias após a deriva do Glyphosate nos quais foram pulverizadas as soluções de sacarose.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os experimentos concluiu-se que:

- A pulverização de açúcar em mudas de cafeeiro no viveiro, antes de serem transferidas para a casa-de-vegetação, ou na casa-de-vegetação após a transferência, proporcionou uma melhor manutenção do potencial hídrico das plantas associado aos menores valores de condutância estomática e transpiração, tornando-as mais tolerantes à condição de deficiência hídrica imposta pela suspensão da rega.
- A pulverização de cafeeiros com açúcar a 2%, uma semana após deriva de glyphosate, proporcionou maiores valores de vigor vegetativo, mostrando-se eficiente no processo de reversão da intoxicação causada por esse herbicida.



FIGURA 14. Plantas de café submetidas a pulverizações de solução de sacarose em dias após pulverização com glyphosate: 7, 14 e 21 (G+7,14 e 21D); 7, 14, 21 e 28 (G+7,14,21 e 28D), somente sacarose (S) e sem glyphosate e sem sacarose (-G-S testemunha). As pulverizações foram realizadas em novembro de 2002 e as fotos foram tiradas em abril de 2003. UFLA, Lavras – MG, 2003.

5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foram realizados os experimentos concluiu-se que:

- A pulverização de açúcar em mudas de café no viveiro, antes de serem transferidas para a casa-de-vegetação, ou na casa-de-vegetação após a transferência, proporcionou uma melhor manutenção do potencial hídrico das plantas associado aos menores valores de condutância estomática e transpiração, tornando-as mais tolerantes à condição de deficiência hídrica imposta pela suspensão da rega.
- A pulverização de cafés com açúcar a 2%, uma semana após deriva de glyphosate, proporcionou maiores valores de vigor vegetativo, mostrando-se eficiente no processo de reversão da intoxicação causada por esse herbicida.

6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, W. H. (Ed.). **Herbicide handbook**. 7. ed. Champaign: WSSA, 1994. 352 p.

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

ALVES, L. W. R. **Efeito da aplicação de doses reduzidas dos herbicidas glyphosate e oxyfluorfen, simulando deriva sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.)**. 1999. 80 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ARGANDONA, V.; PAHLICHE, E. Water stress on proline content and enzyme activities in Barley seedlings. **Phytochemistry**, Oxford, v. 30, n. 4, p. 1093-1094, Apr. 1991.

BAJJI, M.; LUTTS, S.; KINET, J.-M.. Water deficit effects on solute contribution to osmotic adjustment as a function of leaf ageing in three durum wheat (*Triticum durum* Desf.) cultivars performing differently in arid conditions. **Plant Science**, Clare, v. 160, n. 4, p. 669-681, Mar. 2001.

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

BLUM, A.; MUNNS, R.; PASSIOURA, J. B.; TURNER, N. C. Letters to the editor, Genetically engineered plants resistant to soil drying and salt stress: how to interpret osmotic relations. **Plant Physiology**, Rockville, v. 110, n. 4, p. 1051-1053, Apr. 1996.

BRAKKE, M.; ALLEN JR, L. H. Gas exchange of Citrus seedlings at different temperatures, vapor-pressure deficits, and soil water content. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, n. 3, p. 497-504, May 1995.

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

BRESTIC, M.; CORNIC, G.; FRYER, M. J.; BAKER, N. R. Does photorespiration protect the photosynthetic apparatus in French bean leaves from photoinhibition during drought stress? *Planta*, Berlin, v. 196, n. 3, p. 450-457, June 1995.

BRODRIBB, T. Dynamics of changing intercellular CO₂ concentration (C_i) during drought and determination of minimum functional C_i. *Plant Physiology*, Rockville, v. 111, n. 1, p. 179-185, May 1996.

CAMPBELL, W. H. Nitrate reductase biochemistry comes of age. *Plant Physiology*, Rockville, v. 111, n. 2, p. 355-361, June 1996.

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

CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; MAGALHÃES, A. C. Redução de nitrato em plantas jovens de café cultivadas em diferentes níveis de luz e de nitrogênio. *Bragantia*, Campinas, v. 49, n. 1, p. 1-9, 1990.

CARVAJAL, C. J. F.; PEREIRA, M. J. F. Atomizaciones con azúcar evitan la marchitez cuando se trasplanta el café. *El Agricultor Costarricense*, San José, v. 18, n. 3, p. 68-70, 1960.

CARVAJAL, C. J. F.; PEREIRA, M. J. F. **Manual de recomendaciones para el cultivo del café**. San José, Costa Rica, 1989. 122 p. (Programa cooperativo ICAFE-MAG).

CHARTZOULAKIS, J.; PATAKAS, A.; KOFIDIS, G.; BOSABALIDIS, A.; NASTOU, A. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 95, n. 1/2, p. 39-50, Aug. 2002.

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

CHAVES, S. M. A. Las aspersiones de azúcar evitan la marchitez cuando se trasplanta café. *Noticiero del Café*, San José, v. 6, p. 1-3, 1986.

CLIFFORD, S. C.; ARNDT, K. S.; CORLETT, E. J.; JOSHI, S.; SANKHLA, N.; POPP, M.; JONES, H. G. The role of solute accumulation, osmotic adjustment and changes in cell wall elasticity in drought tolerance in *Ziziphus mauritiana* (Lamk.). *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 49, n. 323, p. 967-977, June 1998.

DaMATTA, F. M. **Alguns aspectos das relações hídricas em cultivares de *Coffea arabica* 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.; 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 hídrico 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.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. *Photosynthetica*, Praha, v. 34, n. 2, p. 257-264, May 1997a.

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

DaMATTA, 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: Embrapa Café; Belo Horizonte : Minasplan, 2000b. 2 v, p. 907-910.

DENNIS, D. T.; BLAKELEY, S. D. Carbohydrate metabolism. In: BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. **Biochemistry and molecular biology of plants**, 2000. 1367 p.

DONAVAN, L. A.; EHLERINGER, J. R. Potential for selection on plants for water-use efficiency as estimated by carbon isotope discrimination. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 81, n. 7, p. 927-935, July 1994.

FIGUEROA, Z. R. Aplicaciones foliares de sucrosa uniformemente marcada com C14 em plantas de café/ *Coffea arabica*/L. **Boletín Trimestral de Experimentación Agropecuária**, Lima, v. 9, n. 2, p.2-7, 1960.

FIGUEROA, Z. R. Efecto de aspersiones com el ácido giberélico y azúcar en el desarrollo de plantas de café (*Coffea arabica* L). Turrialba, Costa Rica: IICA, 1959. p. 105.

FOLONI, L.L. Eficiência e seletividade da mistura de glyphosate + carfentrazone-ethyl, em pós-emergência na cultura de café novo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 26, 2000, Marília, SP. **Resumos...Marília: MA/PROCAFÉ**, 2000, p. 197.

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

FRANZ, J. E.; MAO, M. K.; SIKORSKI, J. A. **Glyphosate: a unique global herbicide**. Washington, DC: ACS monograph, 1997. 653 p.

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.

FRIES, D. D. **Comportamento de α -amilases/invertases e mudanças anatômicas associadas ao cálcio exógeno no período de germinação e/ou alagamento de plântulas do milho (*Zea mays* L.) "Saracura" BRS-4154**. 2003. 49 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GARCIA, A. W. R.; JAPIASSÚ, L. B.; FROTA, G. B. Desenvolvimento de mudas de café com o usos de produtos foliares visando recuperação de intoxicação por glifosato. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEÍRAS, 27., 2001, Uberaba, MG. **Resumos...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 2001. p. 359-361.

GEIGER, R. D.; BESTMAN, H. D. Self-limitation of herbicide mobility by phytotoxic action. *Weed science*, Champaign, v. 38, n. 3, p. 324-329, May 1990.

GERVÁSIO, E. S.; LIMA, L. A. Desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função de diferentes lâminas de água aplicadas durante a fase inicial de formação da lavoura. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1, 1998, Uberlândia, MG. **Resumos...** Uberlândia: UFU/DEAGO; Araguari: Associação dos Cafeicultores de Araguari, 1998. p. 75-78.

GOLBERG, A. D.; RÉNARD, C.; LANNOYE, R.; LEDENT, J. F. Effects and after-effects of water stress on chlorophyll fluorescence transients in *Coffea canephora* Pierre and *Coffea arabica* Apot and Aké Assi. *Café Cacao Thé*, Paris, v. 32, n. 1, p. 11-16, jan./mar. 1988.

HU, Y.; SCHIMIDHALTER, U. Spatial distribution of inorganics ions and carbohydrates contributing to osmotic adjustment in the elongation wheat leaf under saline conditions. *Australian Journal Plant Physiology*, Melbourne, v. 25, n. 5, p. 591-597, 1998.

HUBER, S. C. Biochemical mechanism for regulation of sucrose accumulation in leaves during photosynthesis. *Plant Physiology*, Rockville, v. 91, n. 2, p. 656-662, Oct. 1989.

IGLESIAS, D. J.; LLISO, I.; TADEO, F. R.; TALON, M. Regulation of photosynthesis through source: sink imbalance in citrus is mediated by carbohydrate content in leaves. *Physiologia Plantarum*, Copenhagen, v. 116, n. 4, p. 563-572, Dec. 2002.

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

KAISER, W. M.; HUBER, S. C. Posttranslational regulation of nitrate reductase in higher plants. *Plant Physiology*, Rockville, v. 106, p. 817-821, 1994.

KANECHI, M.; UCHIDA, N.; YASUDA, T.; YAMAGUCHI, T. Non-stomatal inhibition associated with inactivation of rubisco in dehydrated coffee leaves under unshaded and shaded conditions. *Plant Cell Physiology*, Tokyo, v. 37, n. 4, p. 455-460, Apr. 1996.

KING, C. A.; PURCELL, L. C.; VORIES, E. D. Plant growth and nitrogenase activity of glyphosate-tolerant soybean in response to foliar glyphosate applications. *Agronomy Journal*, Madison, v. 93, n. 2, p. 179-186, Mar./Apr. 2000.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. New York: Academic Press, 1995. 495 p.

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

KRUSE, N. D.; TREZZI, M. M.; VIDAL, R. A. Herbicidas inibidores da EPSPS: Revisão de Literatura. *Revista Brasileira de Herbicidas*, Brasília, v. 1, n. 2, 2000.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea Arabica*. II Effects of water stress. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v. 16, n. 1, p. 21-27, Jan. 1980.

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

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.

LIVRAMENTO, D. E. do. **Influência da produção nos teores de carboidratos e na recuperação de cafeeiros (*Coffea arabica* L.) após “recepta” ou pulverizados com solução de sacarose**. 2001. 41 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

LIVRAMENTO, D. E. do; ALVES, J. D.; BARTHOLO, G. F.; GUIMARÃES, P. T. G.; MAGALHÃES, M. M.; XAVIER, H. P. Influência da produtividade nos níveis de carboidratos e na recuperação de lavouras de café (*Coffea arabica* L.) após a poda. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. *Anais...* Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 1807-1812. CD-ROM.

MACHADO, E. C.; MEDINA, C. L.; GOMES, M. de M. de A. Teor de água no substrato de crescimento e fotossíntese em laranjeira 'Valência'. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n. 2, p. 217-226, 1999.

MAGALHÃES, P. C.; SILVA, J. B.; DURÃES, F. O. M.; KARAM, D.; RIBEIRO, L. S. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do milho. *Planta Daninha*, Viçosa, MG, v. 19, n. 2, p. 247-253, Mai./Agos. 2001a.

MAGALHÃES, P. C.; SILVA, J. B.; DURÃES, F. O. M.; KARAM, D.; RIBEIRO, L. S. Efeito de doses reduzidas de glyphosate e paraquat simulando deriva na cultura do sorgo. *Planta Daninha*, Viçosa, MG, v. 19, n. 2, p. 255-262, Mai./Agos. 2001b.

MANGINI, D.; PAULA, M.B.; de CARVALHO, I.G.; DIAS, F.P.; GUIMARÃES, R.J. Efeito da aplicação de boro e zinco na presença de sacarose, uréia e cloreto de potássio via foliar na nutrição mineral de produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 24, 1998, Poços de Caldas, MG. *Anais...* Brasília: MAA/PROCAFÉ, 1998, p. 198-200.

MAROCHI, A. I. Tecnologia de aplicação de defensivos agrícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE SEMEADURA DIRETA EM SISTEMAS SUSTENTÁVEIS, 1993, Castro. *Anais...* Castro: Fundação ABC, 1993. p. 208-227.

McMICHAEL JÚNIOR, R. W.; BACHMANN, M.; HUBER, S. C. Spinach leaf sucrose-phosphate synthase and nitrate reductase are phosphorylated/inactivated by multiple protein kinases in vitro. *Plant Physiology*, Rockville, v. 108, n. 3, p. 1077-1082, July 1995.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e relações hídricas em laranjeira "Valência" enxertada sobre limoeiro "Cravo" e "Trifoliata" e submetida à deficiência hídrica. *Bragantia*, Campinas, v. 57, n. 1, p. 15-22, 1998.

MEDINA, C. L.; MACHADO, E. C.; GOMES, M. de M. de A. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese em laranjeira 'Valência' sob deficiência hídrica. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, v. 11, n. 1, p. 29-34, Abr. 1999.

MÉRY-FERRARIO, S.; VALADIER, M. -H.; FOYER, C. H. Overexpression of nitrate reductase in Tobacco delays drought-induced decreases in nitrate reductase activity and mRNA. *Plant Physiology*, Rockville, v. 117, n. 1, p. 293-302, May 1998.

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

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.

OLIVEIRA, M. A. J.; BOVI, M. L. A.; MACHADO, C.; GOMES, M. M. A. de; HABERMANN, G.; RODRIGUES, J. D. Fotossíntese, condutância e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 59-63, Jan./Mar. 2002.

PAIVA, L. C. Produção de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes níveis de sombreamento e seus reflexos na implantação. 2001. 61 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

PAUL, M. J.; FOYER, C. H. Sink regulation of photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 52, n. 360, p. 1383-1400, July 2001.

PELLESCHI, S.; ROCHER, J. P.; PRIOUL, J. L. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. *Plant, Cell and Environment*, Oxford, v. 20, n. 4, p. 493-503, Apr. 1997.

PEREIRA, G. G.; ROMANIELLO, M. M. Difusão de tecnologia em cafeicultura para a regiões de influência da Universidade Federal de Lavras. 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. 1488-1490.

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

QUEIROZ, C. G. S.; RENA, A. B.; CORDEIRO, A. T.; ALVES, J. D. Ritmo diurno na atividade da redutase de nitrato em folhas e raízes de *Coffea arabica* L. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 28, n. 7, p. 787-795, July 1993.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B. et al. *Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba : POTAFOS, 1986. 447 p.

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

RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. *Guia de herbicidas*. 4. ed. Londrina: IAPAR, 1998. 648 p.

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.

ROPHETE, J. Efecto de aspersiones de azúcar y boro sobre el crecimiento y la nutrición mineral del café. *Turrialba*, Turrialba, v. 15, n. 2, p. 141-144, 1965.

SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; BRADSTRESS, E. D.; HEMINGSEN, E. A. Sap pressure in vascular plants. *Science*, Washington, v. 148, n. 3668, p. 339-346, Apr. 1965.



SEGURA MONGE, A. Efeito da pulverização com uréia, cloreto de potássio e sacarose sobre a transpiração, potencial hídrico e nitrogênio, potássio e açúcares nas folhas de mudas de *Coffea arabica* L. submetidas a déficit de água. 1989. 38 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, J. C. da. Efeito da aplicação de sacarose no teor e no metabolismo de carboidratos em mudas de café (*Coffea arabica* L) com diferentes níveis de reservas de carbono. 2000. 26 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SOUZA, L. S. de.; BUIM, A.; PEREIRA FILHO, J. I. B.; PALMA, V. de. Eficácia do carfentrazone-ethyl em mistura com glyphosate no controle de trapoeraba na cultura do café. **Revista Brasileira de Herbicidas**, Brasília, v. 2, n. 1, p. 19-22, Jan./Agos. 2001.

STANCATO, G. C.; MAZZAFERA, P.; BUCKERIDGE, M. S. Effect of a drought period on the mobilisation of non-structural carbohydrates, photosynthetic efficiency and water status in an epiphytic orchid. **Plant Physiology Biochemical**, Paris, v. 39, n. 11, p. 1009-1016, Nov. 2001.

STITT, M.; QUICK, W. P. Photosynthetic carbon partitioning: its regulation and possibilities for manipulation. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 77, n. 4, p. 633-641, Dec. 1989.

STURM, A. Invertases. Primary structures, functions, and roles in plant development and sucrose partitioning. **Plant Physiology**, Rockville, v. 121, n. 1, p. 1-7, Sept. 1999.

STURM, A.; TANG, GUO-QING. The sucrose-cleaving enzymes of plants are crucial for development, growth and carbon partitioning. **Trends Plant Science**, Oxford, v. 4, n. 10, p. 401-406, Oct. 1999.

TALBOTT, L.; ZEIGER, E. Central roles for potassium and sucrose in guard-cell osmoregulation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 111, n. 4, p. 1051-1057, Aug. 1996.

TODAKA, D.; MATSUSHIMA, H.; MOROHASHI, Y. Water stress enhances β -amylase activity in cucumber cotyledons. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 51, n. 345, p. 739-745, Apr. 2000.

VILELA, L. C. S.; GUIMARÃES, R. J.; CORRÊA, J. B. D.; PAIVA, L. C. Influência do déficit hídrico aplicado a diferentes tipos de mudas de cafeeiro e diferentes substratos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002, Caxambu, MG. **Trabalhos apresentados...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 228-230.

WALL, D. A. Potato (*Solanum tuberosum*) response to simulated drift of dicamba, clopyralid, and tribenuron. **Weed Science**, Champaign, v. 42, n. 1, p. 110-114, Jan./Mar. 1994.

YANG, J.; ZHANG, J.; WANG, Z.; ZHU, Q. Activities of starch hydrolytic enzymes and sucrose-phosphate synthase in the stems of rice subjected to water stress during grain filling. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 364, p. 2169-2179, Sept. 2001.

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

YOSHIBA, Y.; KIYOSUE, T.; NAKASHIMA, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K.; SHINOZAKI, K. Regulation of levels of proline as an osmolyte in plants under water stress. **Plant Cell Physiology**, Tokyo, v. 38, n.10, p. 1095-1102, Oct. 1997.