

# EFEITO DA PROFUNDIDADE E ESPAÇAMENTO DE INSTALAÇÃO DE GOTEJADORES NO POTENCIAL HÍDRICO DAS FOLHAS DE CAFEIEIRO EM SOLO ARGILOSO

Carlos Vinícius Garcia Barreto<sup>1</sup>, Emílio Sakai<sup>2</sup>, Flávio Bussmeyer Arruda<sup>3</sup>  
Regina Célia de Matos Pires<sup>4</sup>, Emerson Alves da Silva<sup>5</sup>

(Recebido: 18 de março de 2008; aceito: 18 de junho de 2009)

**RESUMO:** Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desempenho de diferentes configurações de instalação de gotejadores, monitorando-se o potencial de água em cafeeiros (*Coffea arabica* L.). Foram implementados 6 tratamentos de irrigação por gotejamento, combinando dois espaçamentos entre emissores, de 0,50 e de 0,80 m, sendo os tubo gotejadores instalados na superfície do solo (0) e na subsuperfície, a 0,10 e a 0,20 m de profundidade, respectivamente T1 (50 – 0), T2 (50-10), T3 (50 – 20), T4 (80 – 0), T5 (80 – 10) e T6 (80 – 20). Para medição do potencial hídrico foliar na alvorada e ao longo de dias selecionados, foi utilizada bomba de Scholander. Pelos resultados, verificou-se que os tratamentos com gotejadores na superfície resultam em menor potencial hídrico foliar no período da antemanhã. Notou-se que o tratamento que proporcionou maior potencial hídrico foliar ao cafeeiro foi o T2. Nos tratamentos T4, T5 e T6, que tinham maior espaçamento entre emissores, foi observado maior estresse hídrico que os demais, especialmente no período de suspensão das irrigações (25/6 a 14/9).

**Palavras-chave:** *Coffea arabica* L., *Coffea canephora*, irrigação, gotejamento, potencial de água.

## EFFECT OF INSTALATION DEPTH AND DISTANCE OF DRIP EMITTER ON COFFEE LEAF WATER POTENTIAL IN A TROPICAL SOIL

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the performance of different configurations of subsurface drip irrigation (SDI) by measuring coffee (*Coffea arabica* L.) leaf water potential. Six treatments of drip irrigation combining two drip emitters spaced at 0.50 and 0.80 m, with three drip placement depths: 0 cm (soil surface), 0.10 m and 0.20 cm. The combined treatments were: T1 (50 – 0), T2 (50 – 10), T3 (50 – 20), T4 (80 – 0), T5 (80 – 10) and T6 (80 – 20). Leaf water potential was measured using a Scholander pressure pump at predawn and during the day. Both surface drip irrigation treatments showed a lower predawn leaf water potential. The treatment that presented better performance with higher water potential values was T2. Another fact observed was that treatments with wider spacing between emitters (T4, T5 and T6) always presented higher water stress than other treatments, mainly in the period when irrigation was suppressed (June, 25<sup>th</sup> to September, 14<sup>th</sup>).

**Key words:** *Coffea arabica* L., *Coffea canephora*, drip irrigation, SDI, leaf water potential.

## 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura irrigada necessita de equipamentos adequados e de métodos de programação para o manejo racional de água e energia elétrica, para reduzir os custos de produção (ESPINDULA NETO, 2002). O estresse hídrico acentuado durante o período de seca acarreta

redução na produtividade; isso ocorre principalmente pela baixa produção de flores que as plantas apresentam após passar por um período de estresse hídrico excessivo (SILVA, 2004). Para evitar que isso ocorra, o balanço hídrico interno da planta deve ser mantido em nível adequado para não comprometer a integridade da planta e de seus processos de produção. O potencial de água na folha pode ser usado como

<sup>1</sup> Engenheiro agrônomo, mestre em agricultura tropical e subtropical pelo IAC, pesquisador em propriedade industrial do INPI na área de engenharia agrícola – DIPAME (divisão de patentes mecânicas), Rua Mayrink Veiga, n. 9, 18º andar, Centro, Rio de Janeiro, RJ – cbarreto@inpi.gov.br – doutorando em engenharia agrícola pela Faculdade de Engenharia Agrícola da Unicamp.

<sup>2</sup> Engenheiro agrônomo, doutor em agronomia pela ESALQ, Pesquisador Científico nível VI do Instituto Agronômico, Fazenda Experimental do IAC, Seção de Biofísica e Ecofisiologia do IAC – Bairro dos Amarais, Campinas, SP – emilio@iac.sp.gov.br

<sup>3</sup> Engenheiro agrônomo, doutor em ciências do solo pela Universidade da Califórnia, Pesquisador Científico nível VI do Instituto Agronômico, Fazenda Experimental do IAC, Seção de Biofísica e Ecofisiologia do IAC, Bairro dos Amarais, Campinas, SP – farruda@iac.sp.gov.br

<sup>4</sup> Engenheira agrônoma, doutora em agronomia pela ESALQ, Pesquisadora Científica nível VI do Instituto Agronômico, Fazenda Experimental do IAC, Seção de Biofísica e Ecofisiologia do IAC, Bairro dos Amarais, Campinas, SP – rcpires@iac.sp.gov.br

<sup>5</sup> Biólogo, doutor em biologia pelo IB – Unicamp, Pesquisador Científico do Instituto Biológico de SP.

indicativo do balanço interno de água na planta. Utilizando esse método para a determinação, observa-se que o potencial hídrico no xilema da folha do cafeeiro ( $y_f$ ), no período antemanhã, apresenta estrita correlação com as reservas de água no solo (SILVA, 2004), haja visto existir uma tendência para equilíbrio entre o potencial hídrico na folha e no solo, resultante do fechamento dos estômatos (SILVA et al., 2003; SOARES et al., 2000). Scalco et al. (2003) relatam que essa técnica foi sensível para a diferenciação das reservas de água no solo antes e após a irrigação. Ao longo do dia, o potencial de água na folha foi sensível à detecção dos efeitos edafoclimáticos na condição hídrica da planta de café. Para algumas cultivares de *Coffea canephora* com sensibilidade estomática, tem-se como resposta fisiológica das plantas sob esse processo a redução da condutância estomática, com consequente redução da transpiração e da taxa de assimilação de carbono (PINHEIRO et al., 2003a).

O aspecto positivo da sensibilidade estomática está na manutenção por maior tempo de um  $y_f$  maior (PINHEIRO et al., 2003b) e um maior percentual de água nas folhas (MATTA, 2004). Nesse sentido, o desenvolvimento reprodutivo apresenta boas correlações com o  $y_f$ , em que a qualidade das flores está relacionada ao estresse hídrico imposto no período de dormência. A imposição de um déficit hídrico suficiente para manter um potencial hídrico no xilema da folha do cafeeiro de -1,2 MPa por um período de 10 dias foi importante para a formação de vasos xilemáticos de ligação mais resistentes nas plantas de café Mundo Novo e Catuaí (ASTEGIANO, 1984). Esse estresse permite uma melhor absorção de cálcio e de água nas flores via apoplasto, melhorando o tamanho e a habilidade de manter-se túrgida (ASTEGIANO et al., 1998). Além disso, a passagem por um período de estresse hídrico foliar é fundamental para que haja uniformidade na florada (RODRIGUES et al., 2003; SILVA, 2004). Após a florada, a manutenção de valores maiores do  $y_f$  favorecem o pegamento dos chumbinhos (OLIVEIRA et al., 2002). Em estudos realizados por Silva et al. (2004) no período de seca, a irrigação promoveu a manutenção do potencial hídrico foliar em torno de -0,5 MPa, enquanto em plantas sem irrigação, foi verificado índice de -2,82 MPa. Embora tenha sido relatado o efeito positivo da redução do

potencial hídrico foliar para a qualidade da florada, neste caso, foi verificado que o nível de estresse mantido em plantas não irrigadas resultou na menor produção de flores (SILVA, 2004).

A tendência de manutenção de plantas mais hidratadas ( $Y_f >$ ) ao longo do ano reflete em maior produtividade, embora haja nuances dentro do manejo da irrigação que são refletidas na uniformidade de produção. Assim, plantas cultivadas em Mococa - SP que passaram o período de seca com estresse controlado ou sem estresse obtiveram produtividade no patamar de 4.300 kg ha<sup>-1</sup>, contra 400 kg ha<sup>-1</sup> das plantas não irrigadas (SILVA, 2004).

Contudo, diferentes cultivares de *Coffea arabica* L. apresentam diferentes níveis de tolerância à seca, o que pode tornar os baixos níveis de água no solo mais agravantes para uma cultivar do que para outra. Avaliando o status hídrico foliar, Freitas et al. (2000) constataram que as plantas de café da cultivar Topázio apresentaram maior susceptibilidade ao estresse hídrico do que as plantas da cultivar Acaia. Similarmente, da Matta et al. (2003) relatam que o clone 120 apresentou maior resistência ao déficit hídrico às 7h30 da manhã, -0,55 MPa, contra -1,43 MPa do clone 46. No horário de 11h30, o clone 120 ainda se manteve mais resistente que o clone 46, com -0,91 e -2,0 MPa, respectivamente. A condutância estomática no clone 120 foi menor do que no clone 46.

A associação entre a produção dos cafeeiros com as condições ecofisiológicas traria ao cultivo irrigado por gotejamento a possibilidade de correlação da distribuição espacial de bulbos úmidos com a produção de cafeeiros. Sob essa premissa, com o presente trabalho, objetivou-se avaliar o status hídrico do cafeeiro (*Coffea arabica* L.), variedade Obatã, enxertado em *Coffea canephora* Pierre ex Froehner, variedade Apoatã, irrigado por diferentes configurações de sistema de gotejamento enterrado e na superfície.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo em Campinas, SP, no ano agrícola 2003-2004. O solo da área experimental foi classificado como Latossolo vermelho eutrófico, constituído por 62% de argila em média, até 1 metro de profundidade. A cultivar

utilizada foi a Obatã IAC-1669-20, enxertada sobre o cafeeiro porta-enxerto *Coffea canephora* cv. Apoatã, caracterizado pelo baixo porte. O espaçamento de cultivo foi de 2,5 m x 1 m e as plantas estavam com 5 anos e irrigadas sob diferentes configurações há 4 anos.

A lavoura foi mantida com capinas e as adubações foram realizadas via solo e via fertirrigação. Até outubro de 2003, as adubações foram realizadas de forma manual e aplicadas na projeção da saia das plantas, com fórmula 20 – 05 – 20, conforme exigências da cultura. As fertirrigações iniciaram-se em novembro de 2003, com cinco aplicações de ureia e cloreto de potássio, de acordo com as recomendações de Raij et al. (1996), sendo a ureia e o cloreto de potássio solubilizados em tanques e injetados no sistema de irrigação por meio de uma bomba tipo Venturi. Em 2003, também foi feita a correção do solo com calcário (RAIJ et al., 1996).

A irrigação foi realizada por gotejamento, com emissores de vazão de 2,3 L h<sup>-1</sup> com diferentes configurações. As irrigações foram realizadas até 4/5/2004, e re-estabelecidas em 15/9, por motivo de estabelecimento de um período de seca para uniformização da florada. O manejo das irrigações consistiu da aplicação de 4 mm dia<sup>-1</sup>.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso em fatorial 2 x 3 (espaçamento entre gotejadores X posição de instalação do tubogotejador), com cinco repetições, totalizando 6 tratamentos. Cada parcela constou de 40 plantas, dispostas em quatro linhas, sendo as duas linhas externas e as plantas das extremidades das linhas centrais consideradas como bordadura, totalizando 16 plantas úteis por parcela. Os tratamentos implementados foram os seguintes:

- T1- Emissores espaçados a 50 cm e tubogotejadores na superfície do solo;
- T2- Emissores espaçados a 50 cm e tubogotejadores a 10 cm de profundidade;
- T3- Emissores espaçados a 50 cm e tubogotejadores a 20 cm de profundidade;
- T4- Emissores espaçados a 80 cm e tubogotejadores na superfície do solo;
- T5- Emissores espaçados a 80 cm e tubogotejadores a 10 cm de profundidade;
- T6- Emissores espaçados a 80 cm e tubogotejadores a 20 cm de profundidade.

O potencial hídrico foliar foi avaliado por uma câmara de pressão, da Soil Moisture, Nebraska, EUA. Foram realizadas doze avaliações no período de janeiro a setembro de 2004. As avaliações ocorreram nos seguintes dias: 20/1, 5/2, 17/2, 9/3, 30/3, 4/5, 25/6, 6/8, 13/8, 20/8, 14/9, 23/9. As medições foram realizadas às 5, 7, 10, 12, 13, 14, 16 e 18 horas. Foram amostradas três folhas maduras e sadias do terceiro par de folhas a partir da extremidade de ramos plagiotrópicos do terço médio superior das plantas, a cada horário para cada tratamento. As folhas coletadas foram acondicionadas em recipientes plásticos fechados, com seu fundo forrado com papel umedecido. Após o corte, as folhas foram rapidamente transportadas para determinação do potencial hídrico. Os valores de potencial da água na folha foram ajustados pelo programa Origin 6.0. Dessa forma, foram obtidas equações de segundo grau para cada tratamento, de forma a correlacionar o potencial da água na folha de acordo com o horário do dia.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Estudo do *status* hídrico ao longo do ano

No período antemanhã, a diferença entre o potencial hídrico foliar do cafeeiro no período de irrigação e no período de déficit hídrico (25/6 a 14/9) foi coerente com as duas condições de disponibilidade de água, concordando com Silva (2004) (Tabela 1). Os cafeeiros irrigados mantiveram um potencial hídrico foliar médio de – 0,20 MPa na antemanhã, sendo verificado o índice de –0,67 MPa durante a estação de déficit hídrico, mostrando uma tendência de equilíbrio entre o potencial de água da folha e do solo.

Ao meio-dia, não houve diferenciação do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro entre o período de maior disponibilidade hídrica do solo e de estresse hídrico. As médias do Yf antes e depois da submissão das plantas ao estresse foram de 2,12 MPa e 2,06 MPa, respectivamente.

Ao longo do período irrigado na antemanhã, as plantas com emissores a cada 0,80 m e tubogotejadores instalados superficialmente (T4) apresentaram menor média de potencial da água na folha: –0,24 MPa. Para esse horário, tubogotejadores instalados enterrados a 20 cm com emissores a cada 0,80 m proporcionaram o segundo pior resultado no

**Tabela 1** – Valores médios de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) no período sob irrigação entre 20/1 e 4/5 e os respectivos erros-padrão da média na antemanhã (AM) e ao meio-dia (MD).

AM	20/01	5/02	17/02	9/03	30/03	4/05	média
T1	-0,20	-0,23	-0,16	-0,21	-0,10	-0,15	0,18
T2	-0,20	-0,17	-0,11	-0,15	-0,14	-0,40	0,20
T3	-0,20	-0,11	-0,10	-0,19	-0,14	-0,46	0,20
T4	-0,28	-0,11	-0,12	-0,30	-0,30	-0,30	0,24
T5	-0,17	-0,17	-0,12	-0,21	-0,16	-0,30	0,19
T6	-0,48	-0,11	-0,11	-0,27	-0,13	-0,20	0,22
Média	-0,26	-0,15	-0,12	-0,22	-0,16	-0,30	
EPM	0,04	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	
MD							
T1	-2,40	-2,26	-1,81	-2,38	-2,78	-2,43	2,34
T2	-1,58	-2,20	-1,67	-1,96	-2,38	-2,43	2,04
T3	-2,17	-1,96	-1,91	-1,96	-2,06	-2,30	2,06
T4	-2,90	-2,05	-2,14	-2,23	-1,90	-2,07	2,22
T5	-2,00	-1,40	-1,87	-1,98	-2,66	-2,43	2,06
T6	-2,43	-1,73	-1,84	-2,16	-2,28	-1,80	2,04
Média	-2,25	-1,93	-1,87	-2,11	-2,34	-2,24	
EPM	0,17	0,12	0,06	0,06	0,13	0,10	

suprimento de água à cultura na antemanhã, ou seja, em média, -0,22 MPa. Para esse tratamento e o tratamento T2, ao meio-dia durante o período irrigado, constatou-se o maior potencial da água na folha, que foi, em média, -2,04 MPa.

Observando os tratamentos T1 e T4 ao meio-dia, nota-se que a condição superficial do sistema radicular observada por Barreto et al. (2006) acarreta as piores condições hídricas às plantas. Infere-se que houve maior consumo de água realizado pelas raízes superficiais, aliado ao poder de dessecação da água no solo pela atmosfera, condição comum em fontes pontuais superficiais, conforme observado por Philip (1997). Nas camadas superiores do solo, o conteúdo de água também atinge mais facilmente faixas próximas do ponto de murcha permanente (RENA & GUIMARÃES, 2000); isso ocorre pelo fato de a evaporação da água no solo ser maior nos extratos superficiais. Um fato sinérgico para essa condição foi observado por Barreto et al. (2006), que constataram que o uso de 0,50 m de espaçamento

em tubogotejadores instalados superficialmente proporciona maior aumento em densidade de raízes superficialmente nos primeiros 10 cm de profundidade. Essa tendência à concentração superficial de raízes refletiu negativamente no *status* hídrico da planta, pois, para uma melhor condição de hidratação, as plantas deveriam apresentar um sistema radicular aprofundado. Tal condição é observada na Tabela 2, na qual se nota menor eficiência da recuperação do potencial da água na folha das plantas sob espaçamento de 0,50 m entre emissores.

Na antemanhã, o valor médio de potencial da água na folha de cafeeiros sob os tratamentos T1 e T4, após restauração das irrigações, foi aquele que variou menos entre a média do período de estresse hídrico e o de restauração das irrigações. Nesse período, o tratamento T1 teve redução de 1% no estresse hídrico e o tratamento T4 obteve 9%. Em um comportamento de melhor resposta à prática de irrigação, os tratamentos T2, T3, T5 e T6 obtiveram respectivamente, redução em seu estresse de 39%,

**Tabela 2** – Valores médios de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) no período sob suspensão das irrigações entre 25/6 e 14/9 e após retorno das práticas de irrigação, 23/9, e os respectivos erros-padrão da média na antemanhã (AM) e ao meio-dia (MD).

AM	25/06	6/08	13/08	20/08	14/09	Média	23/09
T1	-0,73	-0,57	-0,53	-0,63	-1,17	-0,68	-0,67
T2	-0,27	-0,37	-0,50	-0,50	-1,07	-0,54	-0,33
T3	-0,40	-0,47	-0,63	-0,50	-1,40	-0,68	-0,47
T4	-0,83	-0,27	-0,53	-0,60	-1,07	-0,66	-0,60
T5	-0,40	-0,40	-0,77	-0,50	-1,30	-0,67	-0,53
T6	-0,78	-0,37	-0,53	-0,67	-1,47	-0,76	-0,60
Média	-0,57	-0,41	-0,58	-0,57	-1,25		-0,65
EPM	0,09	0,04	0,04	0,03	0,06		0,32
<b>MD</b>							
T1	-1,97	-1,97	-2,17	-2,47	-2,27	-2,17	-2,27
T2	-2,10	-2,30	-1,75	-2,30	-2,23	-2,14	-2,17
T3	-1,50	-1,77	-1,70	-1,87	-3,00	-1,97	-2,27
T4	-2,03	-2,23	-1,83	-2,00	-3,07	-2,23	-2,20
T5	-1,87	-2,03	-2,10	-2,17	-2,93	-2,22	-2,00
T6	-1,53	-1,97	-1,55	-1,20	-1,93	-1,63	-2,15
Média	-1,83	-2,05	-1,85	-2,00	-2,57		-2,22
EPM	0,10	0,07	0,09	0,17	0,18		0,05

30%, 21% e 21%. Ao meio-dia não se constatou qualquer comportamento que possibilitasse notar similaridade ao observado na antemanhã. Nesse horário, de uma forma geral, houve aumento do nível de estresse hídrico, gerado por maior abertura estomática decorrente certamente de um ajuste osmótico adequado à maior disponibilidade de água.

Durante o período de irrigação, ou seja, de 20/1/2004 até 3/2005, foram realizadas fertirrigações com nitrogênio e potássio, nutrientes importantes nas relações hídricas do cafeeiro. Com a aplicação de N, conforme a necessidade das plantas, há melhoria no controle estomático e na capacidade de extração de água do solo. Ocorrem aumento da rigidez da parede celular e melhoria no controle osmótico da turgidez celular, e, por consequência, há manutenção de valores de potencial hídrico da folha mais adequados (MATTA et al., 2002). Dessa forma, é provável que, ao longo das fertirrigações, a nutrição tenha favorecido os potenciais da água na folha em valores

semelhantes, quando se compara o observado no início do trabalho em 20/1 até o final do período de irrigações, em 4/5/2004.

Durante a época das chuvas e das irrigações, o tratamento que possibilitou a melhor condição hídrica aos cafeeiros foi o T1, com potencial de água na folha na antemanhã de -0,18 MPa. Em contrapartida, o tratamento T4 condicionou as plantas à menor média do potencial da água na folha (-0,24 MPa) nesse horário, neste período. Cafeeiros cultivados sob irrigação por gotejamento espaçado a 0,50 m instalado superficialmente apresentam maior desenvolvimento radicular do que aqueles irrigados com gotejadores espaçados a 0,80 m (BARRETO et al., 2006), o que interferiu na capacidade de hidratação da planta no período noturno.

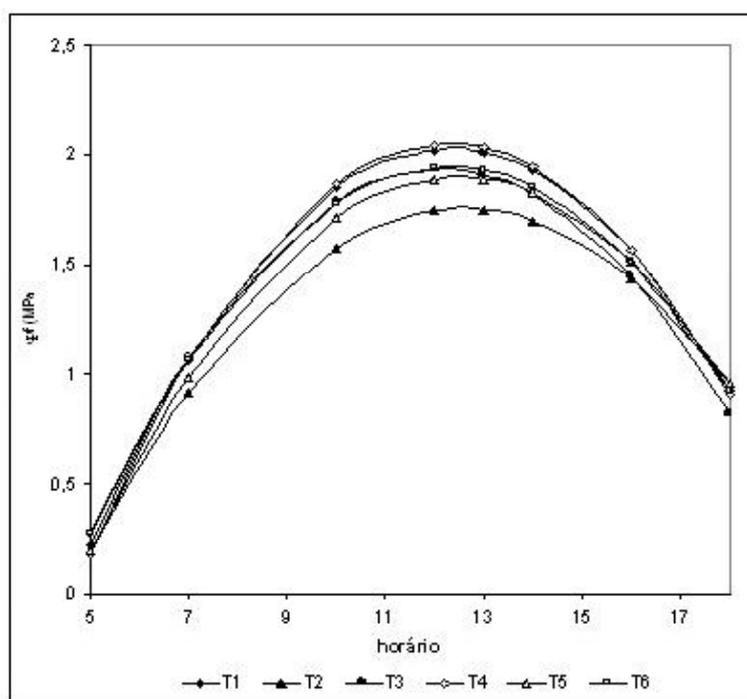
### 3.2 Avaliação diária do status hídrico das plantas

Os resultados observados na Figura 1 referem-se à variação diária do  $y_f$  sob irrigação obtida com

média dos dias 17 de fevereiro, 9 de março e 23 de setembro, que obtiveram comportamento de  $\psi_f$  muito semelhantes. Devido a condições meteorológicas também semelhantes, nota-se o menor valor de  $\psi_f$  nos horários das 10 às 14 horas. De forma geral, o potencial da água na folha medido nos horários da antemã: 7, 16 e 17 horas está em faixas acima daquele verificado para os demais horários, segundo avaliações dos intervalos de confiança dos desvios-padrões da média. A média de todos os tratamentos nos horários de maior demanda atmosférica entre 10 e 14 h foi de  $-1,90$  MPa, e, nos horários de maior potencial,  $-0,88$  MPa. Porém, o tratamento T4 condicionou as plantas de café a manter um potencial da água na folha mais negativo até as 16 horas. Conforme se observa na Tabela 2, esse tratamento proporcionou menor capacidade de aumento do potencial da água na folha. Possivelmente pelo fato de plantas cultivadas sob 0,8 m de espaçamento entre

emissores instalados superficialmente ter possibilitado fraco desenvolvimento de raízes, de acordo com Barreto et al. (2006).

Na Figura 2 na qual se observa o comportamento diário do potencial da água na folha em 9/03/2004, nota-se que, no período de maior demanda atmosférica, entre 10 horas e 14 horas, os tratamentos T1 e T4 proporcionaram os menores potenciais da água no xilema da folha. A média diária desses tratamentos foi  $-1,50$  e  $-1,55$  MPa, respectivamente, os mais baixos do dia. Esse comportamento manteve-se ora de maneira significativa ora não significativa. O tratamento T4, na maior parte do tempo, demonstrou-se insignificamente com menor potencial da água na folha. Conforme foi discutido anteriormente, a profundidade de concentração de raízes tem um papel importante na condição hídrica do cafeeiro (PINHEIRO et al., 2003a). Durante o dia, o



**Figura 1** – Valores médios de 3 dias semelhantes de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) durante o período irrigado e nas diferentes profundidades de instalação do tubogotejador (TG) e espaçamento entre emissores (T1: TG na superfície e gotejadores a 50 cm; T2: TG a 10 cm de profundidade e gotejadores a 50 cm; T3: TG a 20 cm de profundidade e gotejadores a 50 cm; T4: TG na superfície do solo e gotejador a 80 cm; T5: TG a 10 cm de profundidade e gotejadores a 80 cm; T6: TG a 20 cm de profundidade e gotejadores a 80 cm).

tratamento que manteve o maior potencial médio da água na folha foi o T2, com  $-1,36$  MPa; não coincidentemente, plantas cultivadas com emissores espaçados a  $0,5$  m instalados a  $0,10$  m de profundidade possuem melhor desenvolvimento radicular (BARRETO et al., 2006). Isso mostra a capacidade de aproveitamento da água disponível dessas plantas na manutenção de maiores valores do potencial da água na folha.

As curvas de potencial da água na folha são expressas pelas seguintes equações:

$$T1: Y = -3,09255 + 0,83206X - 0,03383X^2$$

$$T2: Y = -2,52929 + 0,68178X - 0,02713X^2$$

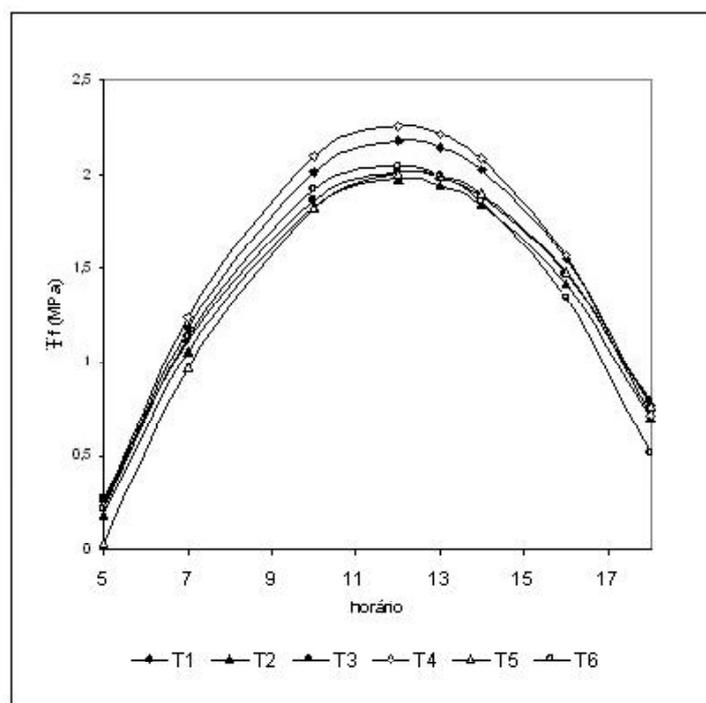
$$T3: Y = -2,83996 + 0,78666X - 0,03242X^2$$

$$T4: Y = -3,23771 + 0,8593X - 0,03493X^2$$

$$T5: Y = -2,84447 + 0,76132X - 0,03057X^2$$

$$T6: Y = -2,80489 + 0,7728X - 0,03144X^2$$

Ainda observando a Figura 2, nota-se entre o horário das 7 e das 10 horas um maior gradiente presente na redução mais rápida do potencial da água na folha. Isso pode revelar que, nesse período, houve maior fechamento estomático no dia. Os tratamentos T4, T5 e T6 apresentaram maior gradiente no final do período da tarde, porém, induzindo o aumento do potencial da água na folha. Isso pode revelar que, entre 16 horas e 18 horas, a planta teve a maior abertura estomática do dia. Pelo fato de que plantas cultivadas sob maior espaçamento entre emissores possuem menor desenvolvimento de raízes (BARRETO et al., 2006), estas ao longo do dia obtiveram uma menor habilidade em recuperarem a água perdida por transpiração, e conseqüentemente maior fechamento estomático e manutenção mais prolongada de menores potenciais da água na folha.



**Figura 2** – Valores diários relativos a 9/3/2004 de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) e seus respectivos erros-padrão das médias (EPM) durante o período irrigado e nas diferentes profundidades de instalação do tubogotejador (TG) e espaçamento entre emissores (T1: TG na superfície e gotejadores a 50 cm; T2: TG a 10 cm de profundidade e gotejadores a 50 cm; T3: TG a 20 cm de profundidade e gotejadores a 50 cm; T4: TG na superfície do solo e gotejador a 80 cm; T5: TG a 10 cm de profundidade e gotejadores a 80 cm; T6: TG a 20 cm de profundidade e gotejadores a 80 cm).

As curvas de potencial da água na folha são expressas pelas seguintes equações:

$$T1: Y = -3,52366 + 0,94767X - 0,03939X^2$$

$$T2: Y = -3,25006 + 0,86693X - 0,03596X^2$$

$$T3: Y = -3,07323 + 0,84185X - 0,03485X^2$$

$$T4: Y = -3,72058 + 1,00112X - 0,04191X^2$$

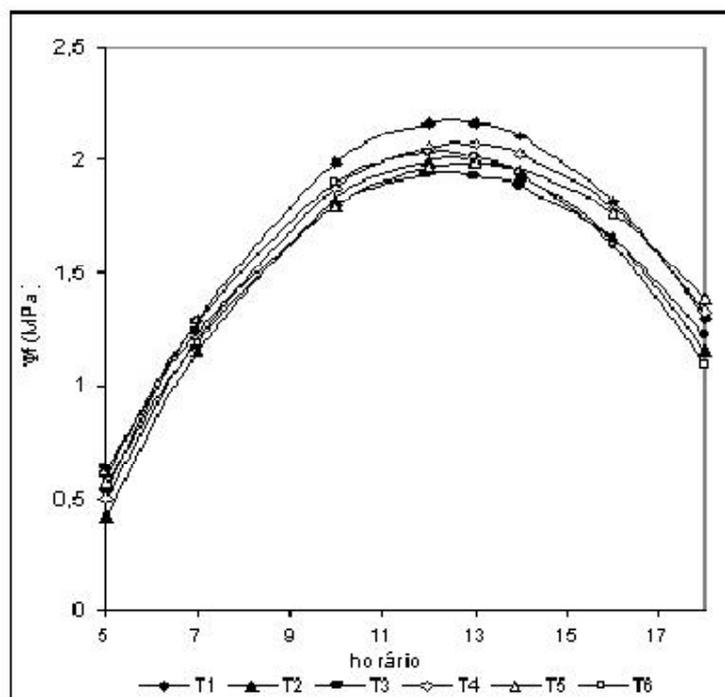
$$T5: Y = -3,62513 + 0,91923X - 0,0375X^2$$

$$T6: Y = -3,47793 + 0,93654X - 0,0397X^2$$

Durante o período das secas, a variação do  $y_f$  entre os horários de maior e menor potencial da água na folha foi menor do que na estação chuvosa. Com média de -1,12 MPa, os horários de menor  $y_f$ , antemanhã, 7, 16 e 17 horas mantiveram-se abaixo do  $y_f$  médio de 2,03 MPa verificado no horário entre 10 e 14 horas. Para os tratamentos T3, T4, T5 e T6, os valores do potencial da água na folha da antemanhã, 7, 16 e 17 horas foram significativamente superiores

aos observados entre os horários das 10 e 14 horas. Nesses últimos horários, os valores estavam abaixo do intervalo de confiança do desvio-padrão da média. Porém, os tratamentos T1 e T2 mantiveram o valor do potencial da água na folha abaixo do intervalo de confiança até o horário das 16 horas, conforme se observa na Figura 3. Esse comportamento mostra que há plantas que tiveram menor capacidade de recuperação do potencial da água na folha.

O comportamento das plantas sob cultivo em T1 e T2 provavelmente está ligado à distribuição de raízes finas no solo. A disposição de tubogotejadores superficialmente, e espaçados a 0,50 m (T1), condiciona as plantas a terem maior ganho de raízes nas camadas superficiais do solo, segundo Barreto et al. (2006), região de maior perda de água do solo por evaporação. De acordo com os mesmos autores, a disposição de tubogotejadores enterrados a 10 cm, e



**Figura 3** – Valores médios de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) e relativos à estação seca nas diferentes profundidades de instalação do tubogotejador (TG) e espaçamento entre emissores (T1: TG na superfície e gotejadores a 50 cm; T2: TG a 10 cm de profundidade e gotejadores a 50 cm; T3: TG a 20 cm de profundidade e gotejadores a 50 cm; T4: TG na superfície do solo e gotejador a 80 cm; T5: TG a 10 cm de profundidade e gotejadores a 80 cm; T6: TG a 20 cm de profundidade e gotejadores a 80 cm).

espaçados a 0,50 m (T2), condiciona maior produção de raízes, acarretando maior consumo de água também no período seco, com maior esgotamento, conseqüentemente.

As curvas de potencial da água na folha são expressas pelas seguintes equações:

$$T1: Y = -23,66742 + 7,25449X - 0,28991X^2$$

$$T2: Y = -24,02151 + 7,05189X - 0,2822X^2$$

$$T3: Y = -17,12494 + 5,85557X - 0,23476X^2$$

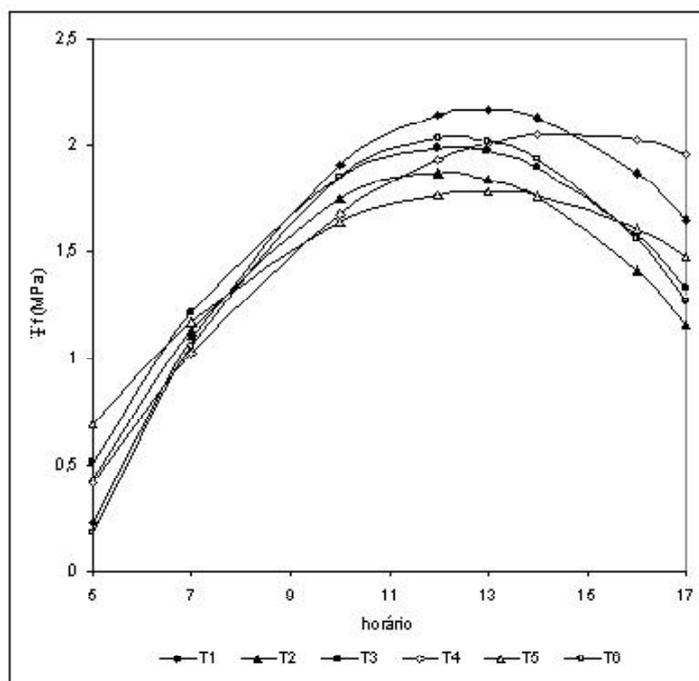
$$T4: Y = -22,08418 + 6,7341X - 0,26492X^2$$

$$T5: Y = -18,07228 + 5,88915X - 0,22862X^2$$

$$T6: Y = -20,86342 + 6,76161X - 0,27751X^2$$

Durante o período de “déficit” hídrico imposto, notou-se que houve uma notável redução no potencial da água na folha do cafeeiro. Esse fato pode estar relacionado à condição fisiológica que as plantas de café se encontravam em 14 de setembro, início de florada. Segundo Astegiano et al. (1998), para a ocorrência da florada, as flores

recebem água translocada das folhas vizinhas. Esse fato concorda com Haeze et al. (2003), que afirmam que há variabilidade no requerimento de água pela planta quando ocorre o desenvolvimento do botão floral e dos grãos. No dia 13/8/2004, durante o “déficit” hídrico imposto, notou-se na avaliação do  $y_f$  diário uma tendência de menores valores para os tratamentos T1, e T4, com valores médios de, respectivamente, -1,64 e -1,62 MPa. Os tratamentos T2, T3, T5 e T6 propiciaram melhores condições hídricas às plantas durante o dia no período de estresse, com, respectivamente, -1,41; -1,54; -1,50 e -1,44. Conforme se observa na Figura 4, houve uma grande variabilidade no comportamento do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro com o “déficit” hídrico. O tratamento T2, nesse dia, possibilitou melhores condições hídricas às plantas ao longo do dia, comportando-se contrariamente à média observada para todo o período de estresse hídrico.



**Figura 4** – Valores médios em MPa de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) ao longo do dia 13/8/2004 nas diferentes profundidades de instalação do tubogotejador (TG) e espaçamento entre emissores (T1: TG na superfície e gotejadores a 0,50 m; T2: TG a 0,10 m de profundidade e gotejadores a 0,50 m; T3: TG a 0,20 m de profundidade e gotejadores a 0,50 m; T4: TG na superfície do solo e gotejador a 0,80 m; T5: TG a 0,10 m de profundidade e gotejadores a 0,80 m; T6: TG a 0,20 m de profundidade e gotejadores a 0,80 m).

As curvas de potencial da água na folha são expressas pelas seguintes equações:

$$T1: Y = -2,99509 + 0,79912 X - 0,03094 X^2$$

$$T2: Y = -2,3325 + 0,69667 X - 0,02891 X^2$$

$$T3: Y = -2,26672 + 0,69716 X - 0,02857 X^2$$

$$T4: Y = -1,7378 + 0,51843 X - 0,01771 X^2$$

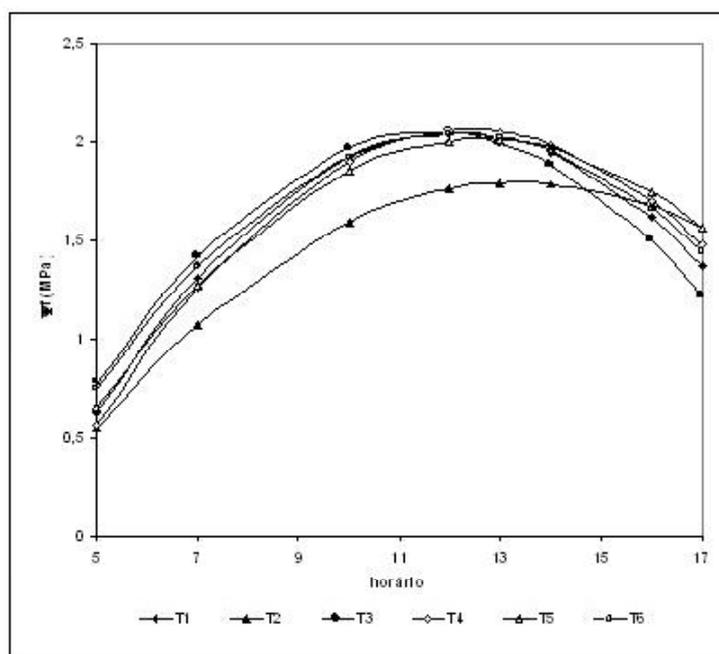
$$T5: Y = -1,14411 + 0,45412 X - 0,01763 X^2$$

$$T6: Y = -3,24149 + 0,85716 X - 0,03483 X^2$$

No dia 23/9, dia em que as irrigações já estavam reiniciadas, comparou-se o potencial da água na folha dos tratamentos irrigados e de plantas sob “déficit” hídrico prolongado. O tratamento T2 novamente foi aquele que possibilitou a manutenção de maior potencial da água na folha ao longo do dia, com média de  $-1,48$  MPa. O  $y_f$  dos tratamentos irrigados proporcionaram um *status* hídrico dos seus cafeeiros significativamente melhor do que nos tratamentos não irrigados. Por outro lado, plantas de café cultivadas sob gotejamento espaçado a  $0,80$  m,

enterrado a  $20$  cm (T6), que atribui menor desenvolvimento radicular (BARRETO et al., 2006), demonstrou a menor habilidade em manter-se hidratadas sob melhor disponibilidade de água no solo.

Na antemã, o valor encontrado para os cafeeiros irrigados foi de  $-0,53$  MPa, em média, contra  $-1,33$  MPa para aqueles que estavam sob estresse prolongado. Embora um pouco diferentes, esses resultados são concordantes com o observado por Soares (2001), em que, para os cafeeiros da cultivar Catuaí IAC 44, foram observados o  $y_f$  médio de  $-0,2$  MPa nos cafeeiros irrigados continuamente, e  $-1,9$  MPa para os cafeeiros sob suspensão das irrigações por 90 dias. As plantas sob “déficit” hídrico continuado mantiveram-se sob significativo menor potencial da água no xilema da folha, exceto nos horários das 12 e 13 horas que, embora maiores, não foram significativos, conforme se observa na Figura 5. Ao longo do dia, o  $y_f$  médio para os tratamentos não irrigados foi de  $-2,46$  MPa, contra  $-1,75$  MPa daqueles



**Figura 5** – Valores de potencial da água na folha ( $\Psi_f$ ) com diferença mínima significativa (DMS) ao longo do dia 23/9/2004 nas diferentes profundidades de instalação do tubogotejador (TG) e espaçamento entre emissores (T1: TG na superfície e gotejadores a  $50$  cm; T2: TG a  $10$  cm de profundidade e gotejadores a  $50$  cm; T3: TG a  $20$  cm de profundidade e gotejadores a  $50$  cm; T4: TG na superfície do solo e gotejador a  $80$  cm; T5: TG a  $10$  cm de profundidade e gotejadores a  $80$  cm; T6: TG a  $20$  cm de profundidade e gotejadores a  $80$  cm); seca: T1 com tubogotejadores desconetados da adução.

irrigados. Rodrigues et al. (2003) observaram que os tratamentos irrigados ao longo do ano obtiveram a média de  $y_f$  diurno de -0,7 MPa. Com 65 dias sem irrigação, foram observados -3,3 MPa; com 105 dias de estresse, atingiu-se -3,8 MPa.

Observando conjuntamente os tratamentos T1, T2 e T3, com seus valores médios de potencial da água no xilema da folha, -1,61 MPa, -1,48 MPa e -1,61 MPa, respectivamente, nota-se que, em média, esses valores são menos negativos que os valores encontrados nos tratamentos T4, T5 e T6: respectivamente -1,63 MPa, -1,63 MPa e -1,65 MPa. Logo, nesse dia a recém-formada faixa contínua de umidade tendeu a aumentar o potencial da água na folha, porém de forma não significativa. Como os tubogotejadores de maior espaçamento foram menos eficientes na formação de uma zona úmida contínua (BARRETO et al., 2008), houve menores valores de  $y_f$  para tratamentos com espaçamento entre emissores de 0,80 m.

As curvas de potencial da água na folha são expressas pelas seguintes equações:

$$T1: Y = -2,07062 + 0,68027X - 0,02811X^2$$

$$T2: Y = -1,38264 + 0,47465X - 0,01772X^2$$

$$T3: Y = -1,86233 + 0,67104X - 0,02881X^2$$

$$T4: Y = -2,15401 + 0,67993X - 0,02743X^2$$

$$T5: Y = -1,72666 + 0,59312X - 0,02351X^2$$

$$T6: Y = -1,69689 + 0,61557X - 0,02535X^2$$

#### 4 CONCLUSÕES

O emprego de plantas cultivadas sob gotejamento espaçado a 0,50 m e enterrado a 0,10 m de profundidade trouxe ao cafeeiro Obatã melhor *status* hídrico. A adoção de tubogotejadores instalados superficialmente propiciou a pior condição hídrica às plantas. O maior espaçamento entre emissores, ou seja, 0,80 m, traz menor capacidade de hidratação vegetal do que 0,50 m.

#### 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASTEGIANO, E. D. **Movimentação de água e quebra da dormência de botões florais de café (*Coffea arabica* L.)**. 1984. 42 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1984.
- ASTEGIANO, E. D.; MAESTRI, M.; ESTEVÃO, M. de M. Water stress and dormancy release in flower buds of *Coffea arabica* L.: water movement into the buds. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v. 63, n. 3, p. 529-533, July 1998.
- BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; SILVA, E. A.; PIRES, R. C. M. Distribuição espacial do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento em Campinas. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 641-647, 2006.
- BARRETO, C. V. G.; SAKAI, E.; PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B. Técnica de avaliação de bulbo úmido por múltiplos cortes em trincheira. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 8, jun. 2008.
- ESPINDULA NETO, D. **Uso racional de água e energia elétrica na cafeicultura irrigada por pivô central e gotejamento**. 2002. 108 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.
- FREITAS, R. B.; OLIVEIRA, L. E. M.; SOARES, A. M.; FARIA, M. A.; 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. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. v. 2, p. 917-919.
- HAEZE, D.; DECKERS, J.; RAES, D.; PHONG, T. A.; CHANH, N. D. M. Over irrigation of *Coffea canephora* in the central highlands of Vietnam revisited simulation of soil moisture dynamics in Rhodic Ferralsols. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 63, p. 185-202, Dec. 2003.
- MATTA, F. M. da. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 16, n. 1, p. 1-6, Jan./Apr. 2004.
- MATTA, F. M. da; CHAVES, A. R. M.; PINHEIRO, H. A.; DUCATTI, C.; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two-field grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, Amsterdam, v. 164, p. 111-117, Jan. 2003.
- MATTA, F. M. da; LOOS, R. A.; SILVA, E. A.; LOUREIRO, M. E.; DUCATTI, C. Effects of soil water deficit and nitrogen nutrition on water relations and photosynthesis of *Coffea canephora* Pierre. **Trees**, Heidelberg, v. 16, p. 555-558, Nov. 2002.

- OLIVEIRA, J. G. **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 de irrigação.** 1995. 55 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1995.
- OLIVEIRA, L. A. M.; FARIA, M. A.; ALVARENGA, A. A.; SILVA, M. L. O.; SILVA, A. L.; GARCIA, P. R.; COSTA, H. S. C. Efeito da época de irrigação na emissão de flores e no estabelecimento de frutos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 5., 2002, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2002. p. 47-51.
- PHILIP, J. R. Effect of root water extraction on wetted regions from continuous irrigation sources. **Irrigation Science**, Heidelberg, v. 17, p. 127-135, May 1997.
- PINHEIRO, H. A.; MATTA, F. M. da; CHAVES, A. R. M.; BATISTA, K. D.; MORAES, G. A. B. K. de; LOUREIRO, M. E. Parâmetros fotossintéticos e suas respostas às variações no potencial hídrico na antemanhã e “déficit” de pressão de vapor d’água em quatro clones de *Coffea canephora* em condições de “déficit” hídrico. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003a. p. 77.
- PINHEIRO, H. A.; MATTA, F. M. da; CHAVES, A. R. M.; BATISTA, K. D.; MORAES, G. A. B. K. de; LOUREIRO, M. E. Trocas gasosas, fluorescência da clorofila e status hídrico em clones de *Coffea canephora* submetidos à seca. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003b. p. 80.
- RAIJ, B. van; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo.** 2. ed. Campinas: IAC, 1996. 285 p. (Boletim técnico, 100).
- RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro:** estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: Epamig, 2000. 80 p.
- RODRIGUES, G. C.; GUERRA, A. F.; NAZARENO, R. B.; SAMPAIO, J. B.; SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P. M. R. Efeito do regime hídrico na floração de *Coffea arabica* L. cultivar Catuaí Rubi MG 1192. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 127-128.
- SCALCO, M. S.; REZENDE, F. C.; PAIVA, L. C.; COLOMBO, A.; CARVALHO, C. H. M. de; SILVA, E. L. da. Potencial hídrico foliar do cafeeiro sob diferentes critérios de irrigação e densidades de plantio. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 143-144.
- SILVA, E. A. da. **Influência de distintas condições edafoclimáticas e do manejo de irrigação no reflorestamento, produção e qualidade de bebida do café (*Coffea arabica* L.).** 2004. 69 p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- SILVA, E. A.; BRUNINI, O.; SAKAI, E.; ARRUDA, F. B.; GALLO, P. B.; PEREIRA, A. C. Efeito das variáveis edafoclimáticas e da intensidade/duração do “déficit” hídrico na uniformidade de produção e produtividade do cafeeiro arábica na localidade de Mococa - SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 410.
- SOARES, A. R. **Irrigação, fertirrigação, fisiologia e produção do cafeeiro adulto na região da zona da mata de Minas Gerais.** 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.
- SOARES, A. R.; MANTOVANI, E. C.; RENA, A. B.; SOARES, A. A. Relações entre déficit hídrico e a floração em cafeeiros Catuaí irrigados. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. p. 849-851.