

CARLOS VINÍCIUS GARCIA BARRETO
Engenheiro Agrônomo

Distribuição do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento superficial e subsuperficial

Dissertação apresentada ao
Instituto Agronômico para
obtenção do título de Mestre
em Agricultura Tropical e
Subtropical – área de
concentração em Gestão de
Recursos Agroambientais.

Orientador: Dr. Emílio Sakai

Campinas
2005

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Agrônômico, pela realização do mestrado

A CAPES, pela bolsas de estudos concedida, sem a qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao CNP&D-Café / EMBRAPA pelo financiamento da pesquisa.

A Dra. Regina Célia de Matos Pires, pelo apoio ao meu ingresso no Instituto Agrônômico como estagiário e na realização do mestrado.

Ao Dr. Flávio Bussmeyer Arruda, pelos conselhos e pela amizade.

Ao Dr. Emílio Sakai, pela orientação, paciência e confiança no meu trabalho.

Aos funcionários Izolina, Michael, Olávio, Leonardo, por todo apoio e convívio.

Ao Dr. Emersom Alves da Silva, pelos ensinamentos.

A Dra. Mônica Ferreira de Abreu, por ter sido prestativa na realização das análises químicas.

Aos colegas de mestrado, que juntos superamos este desafio.

BARRETO, C.V.G. Distribuição do sistema radicular do cafeeiro fertirrigado por gotejamento superficial e subsuperficial. 2005. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto Agronômico. Campinas.

RESUMO

A técnica da irrigação por gotejamento tem sido empregada na cafeicultura, com grande eficiência no uso da água e nutrientes, trazendo aumentos em produtividade nas lavouras de café. O sistema radicular do cafeeiro, moldável quanto à sua distribuição, pode sofrer influência pela variabilidade de distribuição de água e nutrientes no solo, proporcionada pelo gotejamento. Como possível consequência na modificação da distribuição radicular, as plantas possuiriam diferentes condições hídricas. O presente trabalho objetivou observar as modificações ocorridas na conformação das raízes do cafeeiro irrigado por gotejamento sob diversas configurações de espaçamento entre emissores e de profundidade de instalação. Também foram observados os reflexos dos tratamentos impostos na condição hídrica da planta e na profundidade de acúmulo de nutrientes no solo. O ensaio foi conduzido no campo, no Instituto Agronômico (IAC), em Campinas, SP, em solo argiloso com a cultura de café arábica, cultivar Obatã enxertadas em plantas da cultivar Apatã, com idade de 5 anos, no espaçamento de 2,5 m por 1 m. A irrigação era diária, por gotejamento, utilizando duas distâncias entre emissores, 50 ou 80 cm, sob três profundidades de instalação, 0 cm, 10 e 20 cm, no delineamento em blocos ao acaso. Notou-se que, as diferentes configurações dos tubogotejadores propiciaram condições distintas de molhamento do solo. O desenvolvimento radicular ocorreu condicionado à distribuição de água no solo, com maior desenvolvimento radicular no lado onde não se gotejava. Quando irrigados, os cafeeiros apresentaram profundidades efetivas distintas segundo os diferentes espaçamentos entre emissores. As plantas fertirrigadas tiveram uma tendência de manter a profundidade efetiva não mais que 70 cm. Os efeitos da distribuição espacial das raízes aliado às condições de molhamento do solo

condicionaram o potencial da água na folha. As plantas que se desenvolveram sob os tratamentos T1 (50-0 cm) e T4 (80-0 cm), com maior área molhada na superfície do solo, foram as que apresentaram piores condições hídricas. O tratamento T2 (50-10 cm) foi o que apresentou maior ganho de raízes, potencializando uma melhor condição de consumo de água. Esse comportamento atribuiu ao tratamento T2 melhor condição hídrica expressa pelo maior potencial de água nas folhas. Os tratamentos T4, T5 (80-10 cm) e T6 (80-20 cm), tiveram menor desenvolvimento radicular, o que, possivelmente, refletiu em melhor controle estomático e potencial de água na folha mais estável.

PALAVRAS – CHAVE: cafeeiro, raízes, irrigação localizada, gotejamento enterrado, potencial de água nas folhas.

ABSTRACT

Trickle irrigation has been used in coffee production with increasing interest due to the efficient use of water and nutrients and better crop productivity. Distribution of crop root system are affected by soil moisture and nutrient distribution, therefore, trickle irrigation might impose a role for coffee plant growth. The purpose of this work was to investigate the effect of placement of drip line irrigation system on coffee plants. A field experiment was carried out in the Instituto Agronômico (IAC), in Campinas, SP, Brazil, in a clay soil. It was used arabic coffee plants, cv. Obatã craft over Apoatã, with 5 years old, spaced 2.5 m by 1 m, all trickle irrigated. The treatments consist of two emitter distances, 50 and 80 cm, and three installation depth, 0 (surface), 10 and 20 cm. Irrigation with different treatments of drip-lines resulted in various soil moisture distribution, as showed in the work, and affected root growth. Fertirrigated plants tend to have an effective root system no more than 70 cm deep. Xylem water potential (LWP) taken with Scholander pressure bomb in recent expanded leaves was used to evaluate the plant performance in relation to soil moisture, nutrients and root distribution as affected by drip line installation. Plants under treatments T1 (50-0 cm) and T4 (80-0 cm) presented the largest wet area on soil surface and the worst soil moisture regime. Treatment T2 (50-10 cm) had the best root gain during an year of study, a fact that gave a better condition to plants explore and extract soil moisture, as was showed by high values of LWP. Treatments T4, T5 (80-10) and T6 (80-20) presented lower root development, however, it seems they had a better stomata control and more stable values of LWP.

KEY-WORDS: coffee, root, trickle irrigation, SDI, leaf water potential.

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1. | Composição granulométrica do Latossolo vermelho eutrófico da área experimental em Campinas | 13 |
| Tabela 2. | Valores médios de massa de raiz de cafeeiro (mg cm^{-3}) para os tratamentos T1 e T2 em julho de 2003, as letras representam a distribuição a partir do tronco. | 30 |
| Tabela 3. | Valores médios de massa de raiz de cafeeiro (mg cm^{-3}) para os tratamentos T3 e T4 em julho de 2003, as letras representam a distribuição a partir do tronco. | 31 |
| Tabela 4. | Valores médios de massa de raiz de cafeeiro (mg cm^{-3}) para os tratamentos T5 e T6 em julho de 2003, as letras representam a distribuição a partir do tronco. | 32 |
| Tabela 5. | Valores médios de massa de raiz de cafeeiro (mg cm^{-3}) para os tratamentos T1 e T2 em fevereiro de 2004, as letras representam a distribuição a partir do tronco. | 33 |
| Tabela 6. | Valores médios de massa de raiz de cafeeiro (mg cm^{-3}) para os tratamentos T3 e T4 em fevereiro de 2004, as letras representam a distribuição a partir do tronco. | 34 |
| Tabela 7. | Valores médios de massa de raiz de cafeeiro (mg cm^{-3}) para os tratamentos T5 e T6 em fevereiro de 2004, as letras representam a distribuição a partir do tronco. | 35 |
| Tabela 8. | Profundidade efetiva (cm) média de cada tratamento, seguida de seu respectivo erro padrão da média, no momento da primeira e segunda amostragem de raízes com a respectiva alteração em percentual da diferença entre ambos. | 36 |
| Tabela 9. | Ganho relativo da densidade de raízes (em %) para cada ponto de amostra por tratamento entre as amostras de julho de 2003 e fevereiro de 2004. | 38 |
| Tabela 10. | Distância efetiva média de raízes (cm) por tratamento seguido do erro padrão da média, nas amostragens de Julho de 2003 e de Fevereiro de 2004 segundo o lado amostrado por tratamento. | 42 |
| Tabela 11. | Variação na distância efetiva média das raízes (%) relativa à diferença dos valores da primeira e segunda coleta para os pontos A e B para os pontos E e F, dentro da profundidade efetiva (P.E.) e ao longo de toda a profundidade estudada (150 cm). | 43 |

Tabela 12. Umidade do solo (% em peso seco) em período de déficit hídrico na camada superficial do solo, 10 a 20 cm de profundidade.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Disposição das parcelas nos blocos na área experimental | 14 |
| Figura 2. | Pontos de tradagem de raíz em cada tratamento | 19 |
| Figura 3. | Precipitação mensal e temperatura média do ar (°C) entre os meses de Janeiro e Setembro de 2004 com indicação pelas setas do início e final do déficit hídrico imposto, respectivamente 16/06 e 16/09/2004. | 22 |
| Figura 4. | Perspectivas isométricas dos bulbos úmidos formados pelos diferentes tratamentos impostos durante a disponibilização de água em profundidade após período de déficit hídrico. | 24 |
| Figura 5. | Potencial da água na folha na antemanhã e ao meio dia ao longo do ano segundo os tratamentos impostos. | 46 |
| Figura 6. | Comportamento médio do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro durante período irrigado segundo os diferentes tratamentos impostos, utilizando três dias semelhantes. | 52 |
| Figura 7. | Potencial da água no xilema da folha do cafeeiro ao longo do dia 9/03/2004, as barras representam o erro padrão da média. | 54 |
| Figura 8. | Potencial da água no xilema da folha ao longo do dia 5/02/04 com precipitação às 14:00. | 56 |
| Figura 9. | Comportamento médio do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro ao longo do dia na estação seca segundo os diferentes tratamentos impostos de todos os dias do déficit hídrico imposto. | 58 |
| Figura 10. | Potencial da água no xilema da folha do cafeeiro ao longo do dia 13/08/04, as barras representam o erro padrão da média. | 60 |
| Figura 11. | Comportamento do potencial da água na folha dos tratamentos irrigados e das plantas sob estresse hídrico prolongado, em 23/09/2004. | 62 |
| Figura 12. | Cronologia da florada segundo o percentual acumulado de antes no período de 22 a 26 de setembro. | 64 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. | REVISÃO DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. | O emprego da irrigação na cafeicultura | 3 |
| 2.2. | Disponibilidade e distribuição da água no solo | 3 |
| 2.3. | Sistema radicular do cafeeiro | 5 |
| 2.4. | Potencial da água na folha | 7 |
| 3. | MATERIAL E MÉTODOS | 13 |
| 3.1. | Condições de cultivo e delineamento experimental | 13 |
| 3.2. | Parâmetros Climáticos | 15 |
| 3.3. | Disponibilidade e distribuição da água no solo | 16 |
| 3.4. | Sistema radicular do cafeeiro | 17 |
| 3.5. | Amostragem da umidade e da solução do solo. | 19 |
| 3.6. | Potencial da água na folha | 20 |
| 3.7. | Cronologia da florada | 21 |
| 4.0. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 4.1. | Condição climática do estudo | 22 |
| 4.2. | Disponibilidade e distribuição da água no solo | 23 |
| 4.3. | Sistema radicular do cafeeiro | 29 |
| 4.4. | Potencial da água na folha | 45 |
| 4.4.1. | Comportamento diário do potencial da água no xilema da folha | 51 |
| 4.5. | Cronologia da florada | 63 |
| 5.0. | CONCLUSÕES | 65 |
| 6.0. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 67 |

| | | |
|------------|--|----|
| APÊNDICE A | Gráfico de resistência à penetração do solo da área experimental | 73 |
| APÊNDICE B | Curva de retenção do solo da área experimental | 74 |
| APÊNDICE C | Metodologia da abertura da trincheira | 75 |
| APÊNDICE D | Posições das cápsulas porosas e aplicação de vácuo em campo | 77 |
| APÊNDICE E | Extrator da solução acondicionada no interior da cápsula porosa | 78 |
| APÊNDICE F | Dimensões do bulbo úmido por tratamento avaliado | 79 |
| APÊNDICE G | Valores de potencial da água (BAR) | 85 |

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor de café com participação média de 27,6% na produção mundial (FAO, 2004). O estado de São Paulo, por sua vez, com 10,6% da produção nacional (IBGE, 2004), obteve uma receita de quatrocentos milhões de reais anuais em 2001 e 2002. Este valor representa 2,8 % da produção agropecuária paulista colocando a atividade em 10º lugar em importância econômica frente a outras atividades agropecuárias (TSUNECHIRO et al., 2003). Segundo o IBGE (2004), a área cultivada com cafeeiro no estado de São Paulo era de 224.876 ha em 2002, com produtividade de 1246 kg/ha, considerada a maior da região Sudeste. Dentre os pólos produtores de café no estado destacam-se, Pirajú, Espírito Santo do Pinhal, Franca e Marília que produzem grãos de excelência em qualidade. Isso é favorecido pelas condições edafoclimáticas encontradas nestas regiões (SOUZA et al., 2003b).

Dentre as melhorias na tecnificação da lavoura de café, a irrigação propicia menores custos de produção por saca produzida (VEGRO e ASSUMPCÃO, 2003). O gotejamento, por sua vez, propicia maior eficiência no uso da água e permite, ainda, o emprego da fertirrigação, maximizando o aproveitamento de fertilizantes (BERNARDO, 1984). O uso da irrigação por gotejamento superficial ou subsuperficial, acarreta em produção significativamente superior quando comparada a dos cafeeiros não irrigados (VICENTE et al., 2003). O cafeeiro irrigado apresenta um bom *status* hídrico em condições de maior demanda atmosférica por água. Isso é demonstrado pela relação inversa entre a baixa resistência estomática e a maior taxa de transpiração (SILVA et al., 2000). Os objetivos do enterrio das linhas de gotejamento na irrigação localizada são, evitar danos por ferramentas e animais, reduzir a evaporação da superfície do solo e melhorar o suprimento de água ao sistema radicular.

Outra vantagem da irrigação por gotejamento é a maior eficiência na aplicação de fertilizantes quando comparado a aplicações manuais ou mecanizadas (ANTUNES et al., 2001). Segundo Antunes et al. (2000a), quando a técnica da irrigação é aliada à aplicação de fertilizantes, a produtividade pode aumentar em 35% em relação à aplicação somente de água.

Embora o sistema radicular do cafeeiro tenha suas características de desenvolvimento ligadas primordialmente à genética da planta (FRANCO e INFORZATO, 1946), a umidade no solo também contribui no desenvolvimento radicular. Inforzato e Reis (1963), salientam a necessidade de um solo bem drenado para o melhor desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro. E, mesmo com déficit hídrico, Tomaziello et al. (2000) relataram que as raízes do cafeeiro desenvolveram-se mais do que as demais partes da planta na época das secas. Franco e Inforzato (1946) relataram que solos superficialmente com baixa retenção de água proporcionam um aprofundamento do sistema radicular.

Contudo, Bernardo (1984) afirma ocorrer concentração de raízes nos bulbos úmidos devido à constante manutenção de altos níveis de umidade nesta região. Esta característica do gotejamento pode ser indesejável ao desenvolvimento radicular do cafeeiro, pois Nutmann, citado por Inforzato e Reis (1963) afirmou que em camadas de solo em que há altos níveis de umidade constantemente, o desenvolvimento radicular do cafeeiro tende a retrair-se.

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho do cafeeiro fertirrigado por gotejamento superficial e subsuperficial sob diferentes posições de emissores. Tem-se como hipótese de que a distribuição de água com nutrientes em subsuperfície acarreta um provável comportamento diferenciado da distribuição do sistema radicular do cafeeiro, e consequentemente do *status* hídrico da planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O emprego da irrigação na cafeicultura

No Brasil, de 8% a 10% dos cafezais é irrigada, tendo o sistema de irrigação por gotejamento apresentado boa aplicabilidade (MANTOVANI, 2000). O uso da técnica de irrigação por gotejamento superficial ou subsuperficial, acarreta produção significativamente superior em relação à dos cafeeiros não irrigados (VICENTE et al., 2003). Utilizando esta técnica, partes vegetativas como a copa e o caule têm seus diâmetros aumentados, na medida em que a irrigação tende a suprir o que é perdido pela evapotranspiração (ALVES, 2000). A fertirrigação proporciona melhor desenvolvimento vegetativo e maior produção, quando comparada com a adubação convencional aliada à irrigação (SOARES, 2000). Antunes et al. (2000b) observaram ganhos de produtividade de até 34,5% nas lavouras fertirrigadas quando comparado com as somente irrigadas.

2.2. Disponibilidade e distribuição da água no solo

O *Coffea arabica* L. tem seu centro de origem nas florestas tropicais da Etiópia, na África em altitudes variando entre 1600 e 2800 m e temperatura média de 20°C. Nesta região as chuvas são de 1600 a mais de 2000 mm anuais. Mesmo assim, as plantas passam por um período de estresse hídrico em uma estação seca e fria, variando de 3 a 4 meses de duração (apud DA MATTA, 2004b). No Brasil, nas principais regiões produtoras, a diferenciação floral inicia-se em março, florescendo na primavera com as primeiras chuvas (CAMARGO, 1985).

Segundo D'HAEZE et al. (2003), há uma correlação entre demanda hídrica vegetal e as diversas fases reprodutivas do cafeeiro. A formação do botão floral leva alguns meses até atingir um comprimento final que varia de 4 a 6 mm, antes de entrarem em dormência precedendo o início do inverno. Entre 1 e 4 meses, a dormência vai sendo quebrada até que as precipitações ou irrigações reiniciem o desenvolvimento reprodutivo. Os efeitos da quebra do estresse hídrico podem ser diferentes quando a água é proveniente de chuva ou irrigação.

O fornecimento de água na época do florescimento é importante para a garantia do pegamento dos frutos (D'HAEZE et al., 2003). Oliveira et al. (2002) observaram que plantas que tiveram irrigação durante todo o ano ou em agosto e setembro obtiveram maior número de flores e de pegamentos destas, com 73,8 e 68,5%, respectivamente. Fato concordante com o observado por Soares (2001), o qual afirmou que a quantidade de flores emitidas não variou conforme os tratamentos sob diferentes níveis de estresse controlado. Porém, o tratamento não irrigado teve um percentual de pegamento significativamente baixo, 31%, contra 51,9% dos tratamentos irrigados por gotejamento, fator que pode ter contribuído para a produtividade 64% maior do cafeeiro irrigado, 79 sc / ha. Por isso, a irrigação das plantas de café sob o período de florescimento é recomendável (DRINNAN e MENZEL, 1994). Além do mais, se durante este período ocorrer o estresse hídrico, as flores podem ter seu desenvolvimento retraído, com a não abertura dos botões florais (D'HAEZE et al., 2003). Contudo, não só pela disponibilização de água no solo ocorre a quebra da dormência floral. Segundo Soares (2001), a queda brusca de temperatura proporcionada pelas primeiras chuvas foi a responsável pela quebra de dormência floral, mesmo nos tratamentos irrigados continuamente por gotejamento. Rodrigues et al. (2003) observaram que após 7 dias do início das irrigações sob pivô central houve quebra de dormência floral. Da Matta (2004b) relata que a planta pode ter sensibilidade estomática à quebra do estresse hídrico, segundo a demanda atmosférica por água. Quando

plantas com estas características se deparam com outro fator limitante à quebra do estresse hídrico, que não o solo, esta característica de regulação pode levar a planta à antese.

Segundo Zur (1996), para a disponibilização de água em subsuperfície, o sistema de irrigação por gotejamento apresenta a característica de proporcionar um molhamento em subsuperfície mais desuniforme quando comparado com o método de aspersão. Porém, o espaçamento entre emissores pode interferir na uniformidade do molhamento em subsuperfície. Segundo Souza (2002), quando há sobreposição de bulbos ocasionada pela maior proximidade entre emissores, a camada de 0 a 20 cm de profundidade tem maior coeficiente de uniformidade quando comparada com os bulbos úmidos sem sobreposição. Em condições de gotejamento mais espaçadas, onde o bulbo úmido não se sobrepõe ao outro, ocorre maior uniformidade de distribuição nas camadas de 20 a 40 cm de profundidade, quando comparado com os bulbos sobrepostos. Daí a importância do espaçamento entre emissores aliado à taxa de aplicação e à profundidade efetiva da cultura para o molhamento em subsuperfície (ZUR, 1996), que deve atingir a profundidade efetiva de raízes (BERNARDO, 1984).

2.3. Sistema radicular do cafeeiro

Franco e Inforzato (1946) constataram que, em solos com perfil mais profundo, as radículas do cafeeiro atingem profundidades entre 2,2 e 2,5 m. Já em plantas de cafeeiro da variedade Bourbon Amarelo atingiram respectivamente, 3,70 e 3,10 m com concentração de 90% do volume do sistema radicular nos primeiros 50 cm de profundidade, com maior concentração de raízes até 75 cm de distância da planta (INFORZATO e REIS, 1963).

A distribuição espacial do sistema radicular de diferentes cultivares de cafeeiros pode refletir na sensibilidade ao déficit hídrico (FREITAS, 2000), pois a maior profundidade de raízes é importante para que planta tolere períodos secos, visto que nessas épocas, as camadas superficiais do solo podem apresentar valores abaixo do ponto de murcha permanente (RENA e GUIMARÃES, 2000). Logo, os cafeeiros com o sistema radicular aprofundado estão geralmente agrupados em variedades de plantas mais resistentes à seca (DA MATTA, 2004a). Esta é uma característica que as plantas da cultivar Apoatã – IAC – 2258 possui, apresentando um sistema radicular bem desenvolvido (ALFONSI et al., 2003). Sakai et al. (2000) verificaram que a profundidade efetiva de cafeeiros adultos em produção, de a cultivar Catuaí enxertada em Apoatã IAC-2258, era de 65 cm.

O sistema radicular do cafeeiro é muito plástico quanto à sua distribuição. Fatores físicos como a compactação do solo pode provocar redução do desenvolvimento radicular (SIQUEIRA e PAVAN, 1997). Outros fatores edáficos podem modificar a distribuição espacial como textura, estrutura, aeração, manejos e fertilidade (FRANCO e INFORZATO, 1946; RENA e GUIMARÃES, 2000). Logo, há reflexos desta plasticidade quando ocorre maior esgotamento de água no solo em condições de maior competição entre plantas. Nestas condições, segundo da Matta (2004 b), o sistema radicular do cafeeiro tende a explorar extratos mais profundos do solo em busca de água, acarretando em maior profundidade efetiva. Assim, a disponibilização de água por irrigação também pode influenciar no desenvolvimento primário e secundário do sistema radicular nas camadas do solo (apud BARROS et al., 1999). E segundo Philip, (1997), o consumo de água pode variar de acordo com a profundidade da fonte no solo, sendo maior na parte superior da raiz quando a fonte é instalada superficialmente ou maior na parte inferior quando ela é enterrada. Neste último caso, a ação da gravidade conduz a água para regiões inferiores ao emissor, fazendo com que

a extração pelas raízes seja maior nesta região. Já em fontes superficiais, o poder de dessecação da atmosfera somado à extração das raízes faz com que o consumo de água seja mais superficializado. Essas condições descritas pelo último autor podem condicionar o desenvolvimento radicular dos cafeeiros irrigados sob diferentes profundidades de instalação. Souza et al. (2003a) complementam que o uso de tubogotejadores enterrados causa um aprofundamento do bulbo úmido e faz com que a água atinja menores distâncias horizontais, quando comparados aos emissores instalados superficialmente.

A disponibilidade de nutrientes às plantas de café também podem interferir no seu desenvolvimento radicular. Dependendo da cultivar, uma baixa disponibilidade de nutrientes pode levar a uma maior produção de raízes (AMARAL, 2002). Por outro lado, no trabalho de Karasawa et al. (2003), o excesso de sais no meio de crescimento foi o motivo da redução da produção de matéria seca de raízes de cafeeiro. A menor concentração de nutrientes no bulbo úmido pode ser obtida pelo manejo da irrigação, através da aplicação de água após a injeção de nutrientes, levando a dispersão destes nos limites do bulbo úmido (LI et al., 2004).

2.4. Potencial da água na folha

A atividade de cafeicultura irrigada necessita de métodos de programação do manejo da irrigação. O uso desta técnica conduz ao manejo racional da água na cultura de forma a economizar este recurso natural e energia elétrica, reduzindo os custos de produção (NETO, 2002). O avanço do estresse hídrico a níveis altos durante o período de seca conduz a cultura a um declínio da produtividade. Isso se dá principalmente pela baixa produção de flores que as plantas apresentam após passar por um período de estresse hídrico excessivamente alto (SILVA, 2004). Para evitar que isso ocorra, existem métodos diretos e indiretos de se

determinar o momento da irrigação. O método da câmara de pressão de Scholander aparece como um método direto para a avaliação da demanda hídrica vegetal para o manejo da irrigação. A determinação do potencial da água na folha tem a vantagem de universalizar o grau de estresse hídrico, mostrando o comportamento vegetal decorrente dos processos fisiológicos relacionados à condição hídrica da planta. Utilizando este método para a determinação do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro (ψ_f) na antemanhã, encontra-se correlação com as reservas de água no solo (SILVA, 2004). Tal fato ocorre porque há uma tendência para equilíbrio entre o potencial de água na folha e no solo (SILVA et al., 2003; Soares et al., 2000). Scalco et al. (2003), relatam que esta técnica foi sensível para a diferenciação das reservas de água no solo antes e após a irrigação. Ao longo do dia, este método é sensível à detecção dos efeitos edafoclimáticos na condição hídrica da planta de café. Para alguns cultivares de *Coffea canephora* com sensibilidade estomática, tem-se como resposta fisiológica das plantas sob este processo a redução da condutância estomática, com conseqüente redução da transpiração e da taxa de assimilação de carbono (PINHEIRO et al., 2003a). O lado positivo desta sensibilidade estomática está na manutenção por maior tempo de um ψ_f mais alto (PINHEIRO et al., 2003b) e um maior percentual de água nas folhas (DA MATTA, 2004a). Embora haja uma relação entre o ψ_f e a taxa de assimilação de carbono, Barros et al. (1997) afirmam que o ψ_f não pode ser um parâmetro usado para relacionar-se com o desenvolvimento vegetativo. Contudo, quanto ao desenvolvimento reprodutivo, há correlações deste com o ψ_f . A qualidade das flores está relacionada ao estresse hídrico imposto. A imposição de um déficit hídrico suficiente para manter um potencial da água no xilema da folha do cafeeiro de -1,2 MPa por um período de 10 dias foi importante na elaboração de vasos xilemáticos de ligação mais resistentes nas plantas de café Mundo Novo e Catuaí (ASTEGIANO, 1984). Este estresse permite uma melhor absorção de cálcio e de água nas flores por via apoplástica, melhorando o tamanho e a habilidade 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 (SILVA, 2004; RODRIGUES et al., 2003). Após a florada, a manutenção de valores mais altos do ψ_f ajudam a garantir o pegamento dos chumbinhos (OLIVEIRA et al., 2002). No período de seca, a irrigação tem condição de manter elevado o potencial hídrico foliar, $-0,5$ MPa contra $-2,82$ MPa das plantas sem irrigação (SILVA et al., 2003). Este último nível de estresse é responsável pela menor produção de flores (SILVA, 2004).

Embora o ψ_f seja um parâmetro insuficiente para relacionar-se com o desenvolvimento vegetativo, há outros fatores de trocas gasosas relacionados ao ψ_f que nos permitem fazer inferências entre o potencial hídrico e tendências de desenvolvimento vegetal, tais como condutância estomática, taxa de assimilação líquida de carbono e transpiração.

No início das manhãs de verão, a condutância estomática dos cafeeiros é alta e, com o avançar dos valores de radiação solar, a condutância estomática é reduzida até horários vespertinos (BARROS et al., 1997). Esse comportamento da condutância estomática é harmonioso com a evolução do ψ_f ao longo do dia, pois o ψ_f nos horários das 6:00, 9:00 e 17:00 é significativamente inferior ao observado nos horários de 12:00 e 15:00 (SCALCO et al., 2003). A taxa de assimilação de carbono está ligada ao ψ_f , de sorte que este último quando é reduzido, tem a taxa também reduzida, tendo o oposto como verdadeiro (OLIVEIRA, 1995). Da mesma forma, há uma relação direta entre a taxa líquida de assimilação de carbono e a transpiração (PINHEIRO et al., 2003a). Por outro lado, a absorção de nitrogênio via raiz pode ser prejudicada por baixos valores de ψ_f , pois, nestas condições, há redução da mobilidade deste elemento. As principais implicações deste déficit estão na rigidez da parede celular e no

ajuste osmótico, interferindo na eficiência de uso da água (A), mesmo sob recuperação de valores de condutância estomática (DA MATTA et al., 2002).

Embora o controle estomático tenha um papel importante na manutenção de um alto percentual relativo de água na folha (DA MATTA, 2004a), no cafeeiro arábica outra característica condicionada ao ψ_f é o percentual relativo de água nas folhas. Embora o ψ_f possa variar segundo plantas estressadas ou não estressadas (-2,0 MPa e -1,6 MPa respectivamente), no ponto de perda de turgor as plantas apresentam um percentual relativo de água de 93% (DA MATTA et al., 1993). Tal fato pode ser auxiliar na avaliação de um estado hídrico da planta. A queda de folhas é outro sintoma além do baixo ψ_f observado na condição de estresse das plantas submetidas ao déficit hídrico (FREITAS et al., 2000). A abscisão foliar é um mecanismo para a limitação da transpiração, que ocorre em clones de café susceptíveis à seca. Isso mostra um enfraquecimento do status hídrico foliar (DA MATTA, 2004a).

A tendência de manutenção de altos valores de ψ_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 que passaram o período de seca com estresse controlado ou sem estresse obtiveram produtividade no patamar de 4.300 kg ha⁻¹, contra 400 kg ha⁻¹ das plantas não irrigadas (SILVA, 2004). Contudo, particularidades entre métodos de irrigação foram responsáveis por reflexos na produção. Conforme observado por Rodrigues et al. (2003), ao ligar o sistema de aspersão por pivot, verificou posterior quebra de dormência das gemas florais. O mesmo não foi observado por Soares, (2001) com a irrigação por gotejamento. Provavelmente este último autor tenha iniciado a irrigação somente atendendo à demanda atmosférica e não como o preconizado para este tipo de manejo, ou seja, o

preenchimento de todo o volume de solo onde se situa o sistema radicular efetivo (BERNARDO, 1984). Cabe salientar que o volume do solo é variável, assim como a disponibilidade hídrica varia de solo para solo. Assim, Rodrigues et al. (2003) observaram, em cafeeiros de cv Catuaí Rubi MG1192 irrigados sob pivot, a manutenção média ao longo do ano de valores de ψ_f em torno de -0,14 MPa na antemanhã e de -0,7 MPa durante o dia. Com a suspensão da irrigação na época das secas por 35 dias, os potenciais hídricos foliares não tiveram significativas alterações no final deste período, com valores de -0,17 MPa na antemanhã e -0,83 MPa durante o dia. Com 65 dias de estresse hídrico, menores valores de potencial hídrico começaram a ser atingidos, com -2,0 MPa na antemanhã e -3,3 MPa durante o dia. Com 105 dias completos de estresse os valores atingiram -3,1 MPa na antemanhã e -3,8 MPa durante o dia. Momentos antes da quebra de estresse, com o início das primeiras chuvas, os valores do ψ_f chegaram em valores próximos a -4,0 MPa. Já em cafeeiros da cv Catuaí IAC 44 irrigados por gotejamento ao longo de todo o ano, o ψ_f médio na antemanhã foi de -0,2 MPa. Porém, com a suspensão das irrigações também houve redução gradual nos valores de ψ_f (SOARES, 2001).

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), constatou que as plantas de café da cultivar Topázio apresentaram maior susceptibilidade ao estresse hídrico do que as plantas da cultivar Acaíá. Estas últimas apresentaram uma menor concentração interna de carbono nos estômatos, demonstrando uma maior taxa de fotossíntese. Da Matta et al. (2003) relatam o comportamento de diferentes clones de *Coffea canephora* frente ao déficit hídrico. O clone 120 apresentou maior resistência ao déficit hídrico às 7:30 da manhã, -0,55 MPa, contra -1,43 MPa do clone 46. No horário de 11:30, o clone 120 ainda

manteve-se 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.

Por conta destas variáveis, nuances existente dentro do sistema de irrigação por gotejamento podem recair em reflexos no ψ_f do cafeeiro arábica Obatã enxertado em *Coffea canephora* Apoatã.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Fazenda Santa Elisa, Centro experimental do Instituto Agronômico, em Campinas, SP Lat. 22° 53' S, Long. 47° 05' W, elevação 670 m. O terreno, de solo Latossolo vermelho eutrófico sem camadas compactadas (Apêndice A), era suavemente ondulado com sua face voltada para o norte. A composição granulométrica do solo da área experimental é apresentada na Tabela 1 e a curva de retenção no Apêndice B.

Tabela 1. Composição granulométrica do Latossolo vermelho eutrófico da área experimental, em Campinas.

| Profundidade (cm) | Granulometria (%) | | | |
|----------------------|-------------------|------------|-------|--------|
| | Areia grossa | Areia fina | Silte | Argila |
| 00-20 | 21 | 18 | 05 | 56 |
| 20-40 | 18 | 15 | 06 | 61 |
| 40-60 | 17 | 12 | 06 | 65 |
| 60-80 | 16 | 13 | 06 | 65 |
| 80-100 | 16 | 13 | 07 | 64 |

3.1. Condições de cultivo e delineamento experimental

O cultivar utilizado era de porte baixo, Obatã IAC-1669-20 enxertado sobre o porta-enxerto (*Coffea canephora* cv. Apoatã). As plantas dispostas num espaçamento de 2,5 x 1 m contavam com 5 anos de idade.

A condução da lavoura se deu com a cultura no limpo, com adubações realizadas via solo e fertirrigação. Até outubro de 2003, as adubações foram todas 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 5 aplicações

de uréia e cloreto de potássio, seguindo as recomendações para a cultura pelo Boletim 100, sendo que a uréia e o cloreto de potássio foram solubilizados em tanques, e injetados no sistema de irrigação através de uma bomba tipo venturi. Em 2003, após a realização da análise de solo, foi feita uma calagem para neutralizar o efeito acidificante que as adubações tinham provocado.

O manejo das irrigações seguiu a média histórica estimada para a região, 4 mm, aplicados diariamente na cultura. Os cafeeiros foram irrigados com emissores de vazão de 2,3 l h⁻¹ com espaçamentos de 50 e 80 cm e profundidades de instalação superficial, 10 ou 20 cm.

O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso com seis tratamentos e cinco repetições. Cada parcela tinha 40 plantas, dispostas em quatro linhas sendo que as duas linhas externas eram de bordadura e as plantas das extremidades das linhas centrais também, restando 16 plantas úteis por parcela. Para demais dados foram aplicados à estatística descritiva.

Os tratamentos impostos utilizaram diferentes posições de tubogotejadores se configuraram nas seguintes combinações:

- emissores espaçados em 50 cm e instalados superficialmente (T1);
- emissores espaçados em 50 cm e instalados a 10 cm de profundidade (T2);
- emissores espaçados em 50 cm e instalados a 20 cm de profundidade (T3);
- emissores espaçados em 80 cm e instalados superficialmente (T4);
- emissores espaçados em 80 cm e instalados a 10 cm de profundidade (T5);
- emissores espaçados em 80 cm e instalados a 20 cm de profundidade (T6).

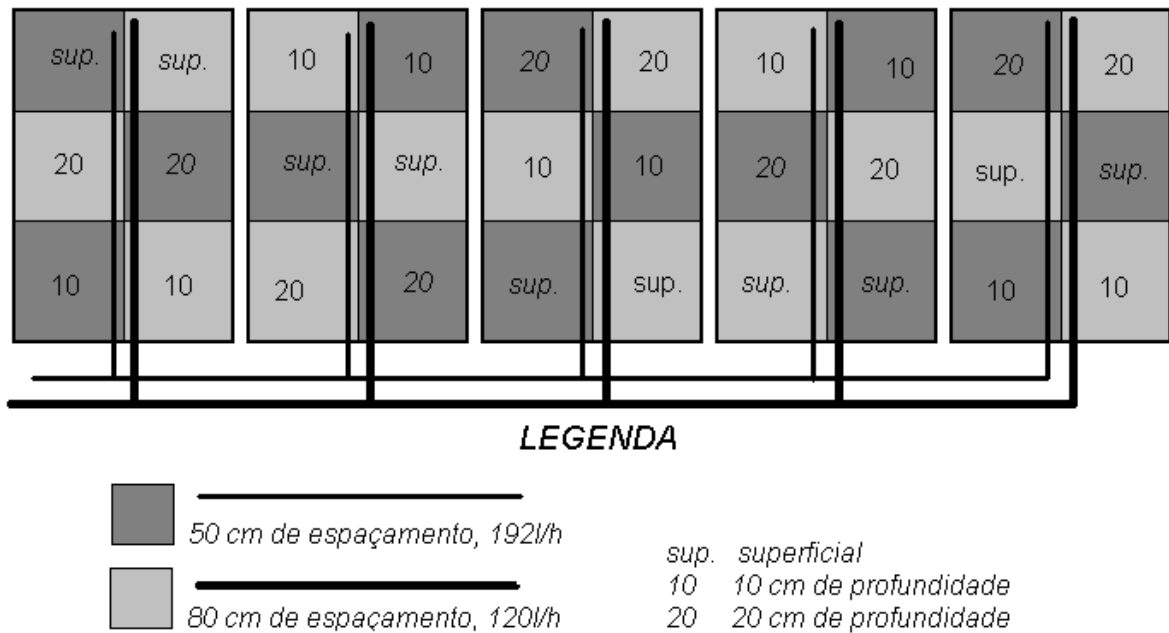


Figura 1. Disposição das parcelas nos blocos na área experimental e as linhas de distribuição de água

Na ocasião do reinício das irrigações em setembro de 2004 desligou-se a linha de tubogotejadores de duas linhas de bordadura para prolongamento do efeito do estresse hídrico do período das secas, constituindo-se como tratamento com estresse prolongado.

3.2. Parâmetros Climáticos

Os dados meteorológicos de precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C) foram obtidos de uma estação meteorológica automática (EMA – Campbell Science) situada aproximadamente 500 m da área experimental.

3.3. Disponibilidade e distribuição da água no solo

A distribuição da água no solo imposta pelos tratamentos de gotejamento foi avaliada na fase de florescimento da cultura, logo após a imposição do estresse hídrico da cultura.

Esta avaliação visou observar o preenchimento da capacidade de retenção de água pelo solo na zona radicular efetiva do cafeeiro. Para o fato, foi aplicado um volume de 22,3 l por metro de tubogotejador no primeiro dia. Nos tubogotejadores espaçados em 80 cm foram o sistema aplicou água três vezes durante 2 horas e 35 minutos. Nos tubogotejadores de 50 cm de espaçamento, foi aplicado o mesmo volume em 1 hora e 37 minutos, numa só vez. No dia seguinte, realizou-se a primeira avaliação dos bulbos nos tratamentos T2 e T5. Em seguida aplicou-se o volume de 22,3 l por metro de tubogotejador em 4 dias seguidos, totalizando 89,2 l h⁻¹ por metro linear para que logo em seguida se realizasse a avaliação de umidade do solo. Após a aplicação da água avaliaram-se os bulbos nos tratamentos T1 e T4. Os tubogotejadores dos tratamentos T3 e T6 receberam o mesmo volume em 5 dias seguidos para posterior avaliação, totalizando 111,5 l por metro linear.

Para a caracterização da distribuição de água em subsuperfície, o bulbo úmido foi avaliado por etapas, para se medir as dimensões do bulbo molhado em cada tratamento. Inicialmente localizou-se a posição dos emissores por meio de abertura das trincheiras, que possibilitaram que se determinasse a partir de outros emissores onde estaria o emissor desejado, visto que o espaçamento entre eles já era conhecido. Determinou-se o ponto médio entre os emissores, onde seria realizada a primeira medição das dimensões do bulbo úmido na parede da trincheira cavada. A partir do ponto entre dois gotejadores, fatiou-se a cada 5 cm ou 10 cm de solo na parede da trincheira em direção ao emissor até cortar a última camada,

abaixo dele. Nas trincheiras dos tubogotejadores de fator 50 cm de espaçamento o fatiamento foi de 5 em 5 cm totalizando 6 fatias, a partir de 25 cm do emissor desenterrado pela trincheira. Nos tratamentos com 80 cm de espaçamento entre emissores houve fatiamento de 10 em 10 cm a partir de 40 cm do emissor desenterrado pela trincheira, totalizou-se 5 fatias. Após cada fatiamento foram medidas as principais dimensões do bulbo úmido, diâmetros em suas respectivas profundidades, profundidade máxima atingida do bulbo. Foi avaliado também o deslocamento destas dimensões em relação ao emissor, do qual originou-se o eixo de referência das cotas. A técnica pode também ser visualizada no Apêndice C.

As principais dimensões medidas dos bulbos úmidos possibilitaram a construção de perspectivas isométricas do bulbo utilizando a técnica descrita por Ferlini (1981) utilizando o programa AutoCAD ligou-se em comandos de linhas e arcos (AUTO DESK, 2004) as extremidades dos eixos construídos com as principais dimensões, construiu-se uma metade de um bulbo, que copiadas em espelho, elaborou-se um bulbo simétrico que, em seguida, foi posicionado em seqüência. Foram desenhadas duas réguas de apoio à visualização dos volumes projetados. Embora seja impossível a ocorrência de bulbos simétricos devido à variabilidade do solo, sua construção teria a utilidade de apontar uma tendência da distribuição da água no solo.

3.4. Sistema radicular do cafeeiro.

A técnica de estudo do sistema radicular no que se refere à amostragem das raízes foi feita com um trado de caneca de 10 cm de diâmetro e borda serrilhada e o trabalho realizado em laboratório seguiu o recomendado por Fujiwara et al., (1994). As coletas das amostras de raízes foram realizadas em locais mantidos livre de ervas daninhas. Foram amostradas duas

plantas por tratamento por época de avaliação. Com um trado de raízes, as amostras foram retiradas em camadas de 10 cm, até a profundidade de 150 cm, em pontos determinados a 40, 80 e 120 cm de distância do ramo ortotrópico principal, perpendicularmente à linha, nos dois lados e, uma entre plantas. Conforme se observa na Figura 2, no lado da planta onde está o tubogotejador, chamou-se de ponto A aquele a 40 cm do ramo ortotrópico da planta, de ponto B a 80 cm e de ponto C aquele de 120 cm de distância da planta entre as plantas, chamou-se de ponto D. No lado oposto ao de onde o tubogotejador está instalado, chamou-se de ponto E aquele situado a 40 cm de distância da planta, de ponto F a 80 cm e de ponto G aquele a 120 cm de distância. Foi realizada uma primeira coleta em julho de 2003, antes do uso da fertirrigação e a segunda em fevereiro de 2004, após iniciar-se a fertirrigação. No total do experimento foram coletadas 2520 amostras de raízes.

Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com solução de 90 a 95% de água e 5 a 10% de álcool para conservação das amostras. Para separar as raízes do solo as amostras foram passadas por imersões e diluições sucessivas das amostras em água para promover a suspensão do material orgânico, incluindo as raízes. Uma vez coletada em tamis com 0,5 mm de diâmetro das malhas, o material orgânico foi seco ao ar sobre uma folha de papel e separadas as raízes finas. Após a limpeza, as raízes foram secas por 48 horas em estufa a 60°C.

Para a obtenção do valor da profundidade efetiva (P.E.) e da distância efetiva (D.E.), foi calculada, em cm, a profundidade ou distância onde totalizou 80% da concentração de raízes dentro das respectivas faixas verticais ou horizontais avaliada. O primeiro passo do cálculo foi dado com o estabelecimento de quanto representa cada posição avaliada frente ao total de raízes. O segundo passo foi interpolar os valores para encontrar a profundidade

efetiva ou a distância efetiva de raízes, ou seja, a que medida de distância ou profundidade totalizou-se 80% acumulado das raízes. Na avaliação da distribuição do sistema radicular segundo o lado da amostragem, foi realizada análise do intervalo de confiança do desvio padrão. Esse procedimento deu-se avaliando conjuntamente o par de pontos a 40 cm de distância da planta (A e E), de 80 cm de distância (B e F) e de 120 cm de distância (C e G). A quantidade de raízes foi dada por mg / cm^3 , tomando-se como volume extraído de 420 cm^3 em cada extrato do solo e, o peso de raízes finas contidas neste volume. O peso das raízes foi avaliado por uma balança com precisão de milésimo de grama.

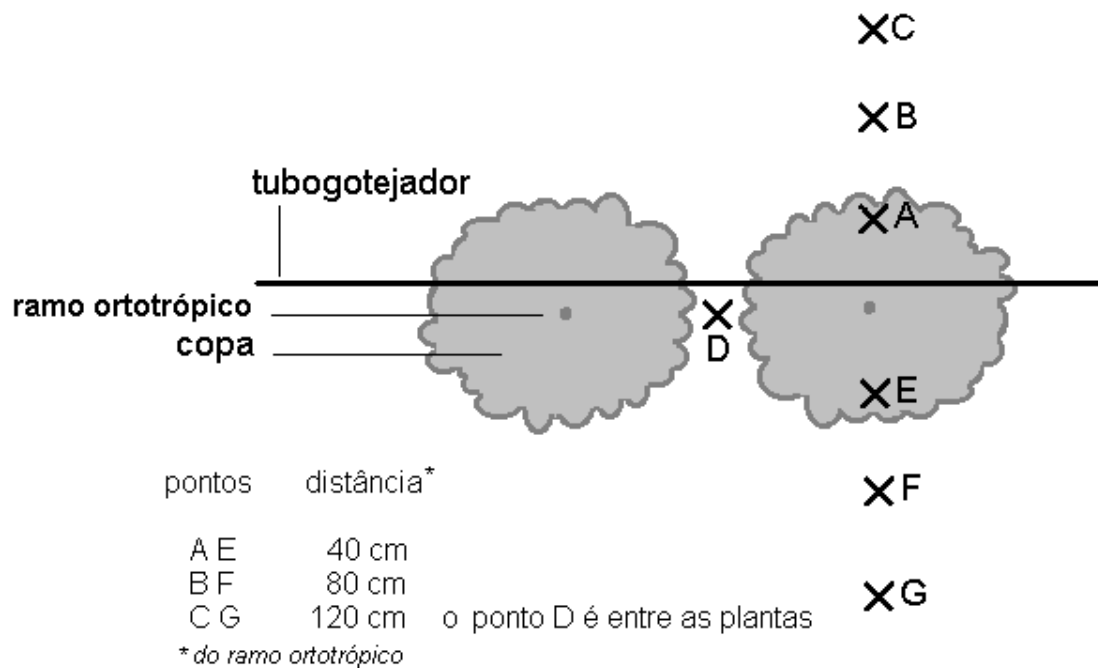


Figura 2. Posições de amostragens em relação à linha de plantio e instalação do tubogotejador para avaliação do sistema radicular do cafeeiro em cada um dos tratamentos.

3.5. Amostragem da umidade e da solução do solo.

Em 2004 foi realizada uma amostragem da solução de solo 24 horas após a fertirrigação. Para essa coleta foi instalado um conjunto de três sondas por tratamento posicionado a 15 cm da linha de gotejamento e nas profundidades de 20, 40 e 60 cm. As sondas consistiam de cápsulas porosas, iguais a utilizadas em tensiômetros, coladas na extremidade de tubos de PVC. Através da imposição de vácuo por uma bomba conectada em outra extremidade, extraía-se a solução do solo para o interior da cápsula. Após a qual retirava-se a solução com uma sonda flexível (Apêndices D e E). Uma vez retirada a solução, estas foram armazenadas em tubos de ensaio e levadas para o Laboratório de Química do Solo do Instituto Agrônômico para a realização das análises químicas, principalmente potássio e nitrogênio, nutrientes utilizados na fertirrigação.

A determinação da quantidade de potássio foi realizada a análise utilizando fotômetro de chama. Os resultados encontrados foram interpolados por meio da curva polinomial dos três valores obtidos.

Em cada tratamento avaliou-se o esgotamento da água no solo durante o período de déficit hídrico por camadas de 0 a 20 cm, de 20 a 40 cm e de 40 a 60 cm de profundidade. O conteúdo de água foi quantificado pelo método gravimétrico, em que as amostras de solo foram coletadas na projeção da saia do cafeeiro, utilizando um trado holandês. As amostras foram acondicionadas em latas e levadas para pesagem e secagem em estufa de ventilação forçada à 105°C. Após a obtenção dos pesos secos, calculou-se a umidade gravimétrica do solo (U%).

3.6. Potencial da água na folha

O potencial da água na folha foi avaliado por uma câmara de pressão tipo Scholander Soil Moisture, Nebraska, EUA. Foram realizadas doze avaliações diárias, todas em 2004 nos dias 20/01, 05/02, 17/02, 09/03, 30/03, 04/05, 25/06, 06/08, 13/08, 20/08, 14/09, 23/09. As avaliações foram realizadas nos horários das 5:00, 7:00, 10:00, 12:00, 13:00, 14:00, 16:00 e 18:00. Foram subamostradas três folhas a cada horário para cada tratamento. Foram utilizadas somente folhas saudáveis do terceiro par de folhas a partir do ápice de ramos plagiotrópicos do terço médio superior das plantas.

No campo amostrava-se 1 tratamento por vez, e neste coletou-se três folhas. As folhas coletadas eram acondicionadas em recipientes plásticos fechados com seu fundo forrado com papel umedecido. Após o corte e acondicionamento em campo as folhas eram rapidamente transportadas pela sombra até o local onde a bomba de Scholander era operada. Estes cuidados visaram à redução da perda de água com conseqüente alteração dos resultados.

3.7. Cronologia da florada

Para observar o efeito dos tratamentos sobre a sincronia da florada ocorrida na terceira semana do mês de setembro de 2004 escolheu-se aleatoriamente 10 plantas por tratamento. Cada planta foi dividida em 4 partes, em dois lados do terço médio superior e nos terços médios inferiores. Com isso, cada tratamento dispôs de 40 avaliações de antese para composição da cronologia da florada. Considerou-se como em florescimento quando a parte avaliada apresentou a primeira flor aberta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Condição climática do estudo

As condições meteorológicas médias reinantes ao longo do experimento em que se avaliou o status hídrico das plantas são visualizados na Figura 2. Nela observamos que as precipitações se estenderam até julho, postergando condições mais severas de seca, o que possivelmente interferiu nos resultados. Porém a temperatura média do ar acompanhou as tendências pertinentes às fases sazonais. O estabelecimento do período seco foi dado com a suspensão das irrigações entre 16/06/2004 e 16/09/2004, representados na Figura 3 pela primeira e segunda seta, da esquerda para a direita. As irrigações, realizadas em caráter suplementar, mantiveram um balanço hídrico positivo na cultura de janeiro a maio. Com a suspensão das irrigações os valores de déficit hídrico atingiram menores patamares, principalmente em agosto, em torno de 217 mm.

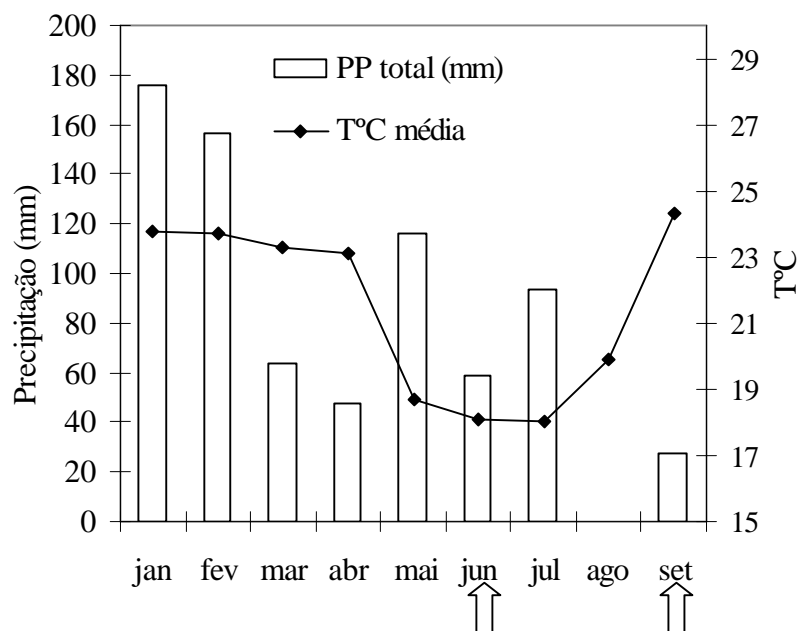


Figura 3. Precipitação mensal e temperatura média do ar (°C) entre os meses de janeiro e setembro de 2004 com indicação pelas setas do início e final do período de imposição do déficit hídrico, respectivamente 16/06 e 16/09/2004.

4.2. Disponibilidade e distribuição da água no solo

Embora para o manejo de água diário não seja necessário o preenchimento do perfil do solo, para a quebra de estresse hídrico este se torna importante devido à reduzida quantidade de água em subsuperfície, por consequência do estresse imposto, necessitando de preenchimento da capacidade de retenção de água no solo.

Durante as avaliações de campo foi constatado que nenhum emissor desenterrado nas trincheiras estava entupido por intrusão de raízes ou solo. Pelo motivo de o solo apresentar baixos valores de umidade, a delimitação dos limites do bulbo úmido foram facilitadas, pois os limites da zona molhada no solo são definidos, sendo circundados de solo mais seco (ZUR, 1996).

No primeiro dia de avaliação, notou-se uma tendência de desenvolvimento dos bulbos úmidos seguindo o declíve do terreno. Na avaliação das primeiras lâminas aplicadas pode-se observar que os bulbos provenientes do tratamento T2 já se encontravam formando uma faixa contínua, conforme se observa na Figura 4-A. A menor distância entre os emissores permitiu que se formasse uma faixa contínua (BERNARDO, 1984). Na superfície, a área molhada superficial foi de $0,439 \text{ m}^2$ por metro de tubogotejador, contudo na subsuperfície, em uma profundidade média de 25 cm a área molhada atingiu $0,515 \text{ m}^2$ por metro linear de tubogotejador. Há desvantagens de uma proeminente área molhada superficial, pois, em fontes sob profundidades pequenas, permitem que as superfícies evaporativas reduzam significativamente a região molhada, com relativa menor redução embaixo da fonte (PHILIP, 1997).

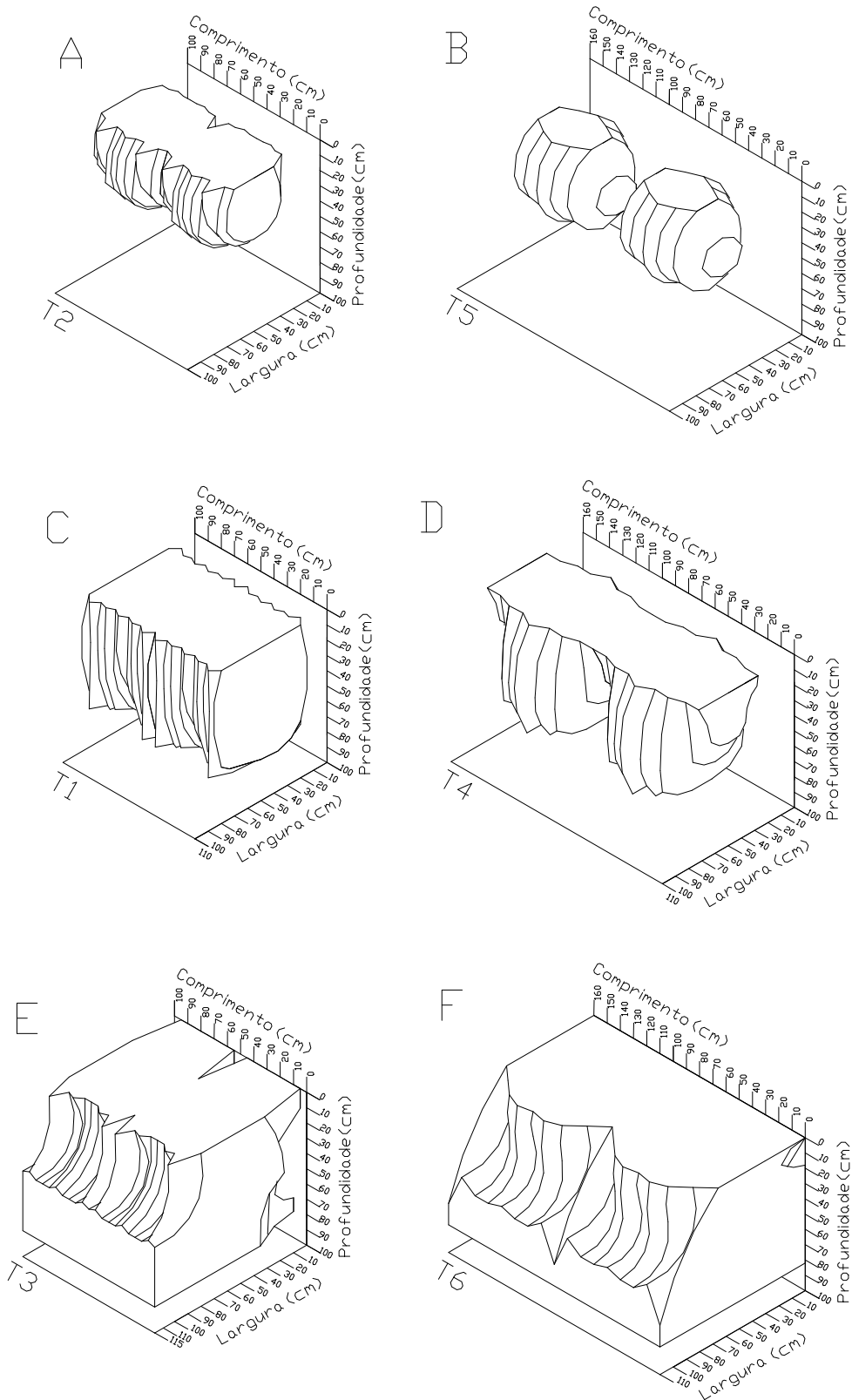


Figura 4. Perspectivas isométricas dos bulbos úmidos formados pelos diferentes tratamentos impostos durante a disponibilização de água em profundidade após período de déficit hídrico.

A profundidade máxima atingida pelo bulbo foi de 54 cm, valor repetido a 5 cm do emissor e abaixo dele. Também abaixo do emissor foi observada a maior largura atingida, 58 cm. Entretanto Zur (1996) salienta ser melhor o molhamento tomar as proporções da zona radicular, 70 cm neste caso, média dos tratamentos observados na segunda amostragem da Tabela 2.

Não houve união entre os bulbos úmidos em T5, conforme se observa na Figura 10-B. As áreas molhadas superficiais neste tubogotejador foram de $0,13 \text{ m}^2$ por metro linear de tubogotejador, já subsuperficialmente esse valor foi de $0,376 \text{ m}^2$ por metro linear de tubogotejador. Em média, esta área molhada subsuperficial estava posicionada a 27,5 cm de profundidade. A profundidade máxima atingida foi de 60 cm abaixo do emissor, e também nesta posição foi medida a maior largura, 49 cm de diâmetro.

O grande gradiente de potencial hídrico entre o solo e o disco molhado permitiu uma rápida expansão da área molhada. Souza (2002), atribuiu este comportamento ao potencial mátrico. Segundo o mesmo autor, são necessárias duas irrigações ou mais para se conhecer o tamanho do bulbo. Por isso, possivelmente nas figuras 3-A e 3-B tem-se bulbos úmidos nos tamanhos aproximados aos formados durante o manejo diário da irrigação. Cabe lembrar que, mesmo com bulbos úmidos não molhando a totalidade do sistema radicular, permite-se atingir uma evapotranspiração ótima com uma intersecção entre bulbo úmido e uma faixa entre 50 a 75% da zona radicular no manejo diário da água de irrigação (apud MEDINA SAN JUAN, 1985).

A diferenciação dos tratamentos foi dada no posicionamento da zona molhada que, em T2 era superficializado e contínuo, enquanto T5 estava um pouco mais aprofundado e

mais incontinuo longitudinalmente na linha. Este último tratamento imprimiu desuniformidade do molhamento do raizame ao longo da linha.

Em T1 houve desenvolvimento da faixa contínua molhada no solo, por conta da união dos bulbos úmidos, conforme se observa na Figura 3-C. Este tubogotejador proporcionou um molhamento superficial de $0,638 \text{ m}^2$ por metro linear de tubogotejador, e subsuperficialmente o mesmo tratamento proporcionou uma área molhada de $0,674 \text{ m}^2$ por metro de tubogotejador. Em subsuperfície, esta área molhada estava posicionada em uma profundidade média de 63 cm de profundidade, camada do solo aproximada ao alcance do bulbo, que foi em média 77 cm. A maior profundidade atingida pelo bulbo úmido foi 82 cm na posição abaixo do emissor. A maior largura atingida superficialmente foi 70 cm de diâmetro, a 20 e a 25cm de distância do emissor, se constatou a maior largura do bulbo em subsuperfície, 70 cm. Contudo, não se observou grandes variações entre os valores da área molhada superficial e subsuperficial. Notou-se maior uniformidade nos bulbos úmidos dentro da profundidade efetiva de raízes nos tratamentos T1 e T2. O volume aplicado atingiu e ultrapassou os 70 cm da profundidade de raízes, porém cumpriu com o essencial, que é a disponibilização de água às plantas dentro da profundidade efetiva. Como houve molhamento mais profundo do que a profundidade efetiva, Zur (1996) classificaria como perdas de água sem aproveitamento pelas plantas.

Nos tratamentos do tubogotejador de 80 cm de espaçamento instalados superficialmente, tornou-se necessária a imposição de um limite da profundidade de estudo, pois a tendência do bulbo formado em pontos mais próximos ao emissor era de aprofundamento superior ao limite estabelecido. Embora tenham se encontrado, os bulbos úmidos formaram uma faixa menos contínua na região do sistema radicular do cafeeiro,

conforme se observa na Figura 3-D. O tratamento propiciou uma área molhada superficial de $0,479 \text{ m}^2$ por metro linear do equipamento e, subsuperficialmente de $0,575 \text{ m}^2$ por metro linear. A profundidade média desta área molhada em subsuperfície foi de 32,6 cm de profundidade. A profundidade máxima atingida neste bulbo foi de 74 cm abaixo do emissor, porém esta profundidade foi limitada devido à tendência de um maior aprofundamento. As maiores larguras do bulbo úmido, tanto superficialmente como subsuperficialmente foram, embaixo do emissor, com 62 cm e 84 cm, respectivamente.

Comparando-se o observado em T1 e T4, pode-se afirmar que o tubogotejador de T1 proporcionou um formato de bulbo mais adequado ao preenchimento da capacidade de retenção de água no solo na zona radicular. Isto porque, os bulbos úmidos originados pela configuração T4 foram menos contínuos em subsuperfície, além de tenderem à proporcionar perdas maiores de água em profundidade. O espaçamento entre emissores é um fator importante na ocorrência de erros causadores de perdas de água e nutrientes de água para camadas mais profundas do solo (THORNBURN et al. 2003).

Os volumes de água aplicados até então formaram bulbos úmidos com características semelhantes ao descrito por Zur (1996), formas arredondadas e elípticas. Thornburn (2003) acrescenta que o formato do bulbo úmido é mais arredondado à medida que o solo é mais argiloso, fato concordante com a natureza do solo do local do experimento. Medina San Juan (1985) ressalta que a presença de uma camada de impedimento à condução de água no solo proporciona uma base de um bulbo úmido sobremaneira alargada. Esta última característica não foi observada nestes quatro bulbos úmidos estudados, confirmando-se por avaliação de resistência à penetração por penetrômetro.

Os formatos dos bulbos permitiram que se observasse a representatividade da área molhada superficial pela área molhada subsuperficial. Em T2, a área molhada superficial representava 85% da área molhada subsuperficial, em T1 representava 94%. Em T5, a área molhada superficial representava apenas 34% da área molhada subsuperficial, em T4 representava 83%. Isso indica bulbos úmidos com área molhada superficial maior para os tratamentos superficiais. Essa característica representa desvantagem sob o ponto de vista de aproveitamento da água utilizada, pois se tem potencializado a evaporação direta da água no solo.

O que se observou nos bulbos úmidos provenientes dos tratamentos T2 e T1, e nos tratamentos T4 e T5 foi o efeito de irrigações sucessivas, com o aumento dos raios dos bulbos úmidos, tanto verticais como horizontalmente semelhantemente ao descrito por Souza (2002). Porém o observado em T3 e T6 foi uma lâmina excessiva, gerando uma região molhada contínua que não tem as características de um bulbo, conforme se observa nas Figuras 3-E e 3-F. Suas dimensões excederam os limites da trincheira tanto em profundidade como horizontalmente. Para os tratamentos T3 e T6 as áreas molhadas superficiais na região de estudos foram de respectivamente $0,876 \text{ m}^2$ e $0,735 \text{ m}^2$ por metro linear de tubogotejador, subsuperficialmente estas áreas excederam 1 m^2 por metro linear de tubogotejador. Porém, são entendidos que estes valores ainda são inferiores ao verificado na realidade, uma vez que a área molhada extrapolou para o exterior da trincheira.

Para T3 e T6, ficou claro que a deformação nos bulbos úmidos foi obtida pelo preenchimento do limite da capacidade de retenção de água no solo dos bulbos observados nas Figuras 3-C e 3-D. Desta forma, houve desperdício de água e energia, pois a efetividade

do sistema radicular já havia sido atingida pelo molhamento anterior ao observado a T1 e ultrapassado esta profundidade em T4.

O percentual de área molhada superficial obtido para o cafeeiro cultivado sob espaçamento de 2,5 x 1 m para os tratamentos T2, T5, T1 e T4 foram respectivamente, 17,5; 5,2; 25,5; 19,1 %. A área molhada subsuperficial proporcionada pelos tratamentos T2, T5, T1 e T4 foram respectivamente 20,6; 15,0; 26,9; 23,0 %.

O melhor volume de água aplicado seria dado no terceiro dia, totalizando 66,9 l m⁻¹ de tubogotejador. Pelo fato de a distância entre bulbos em T5 ser de 20 cm, o espaçamento entre emissores de 60 cm de distância possivelmente apresentaria resultados mais satisfatórios. A menor área molhada superficial dos tratamentos enterrados possibilitam melhor eficiência no uso da água da irrigação. As medidas avaliadas em campo podem ser visualizadas no Apêndice F.

4.3. Sistema radicular do cafeeiro

O resultado das coletas de raízes feitas em julho de 2003 e fevereiro de 2004 permitiram a realização do cálculo da quantidade de raízes por volume de solo. Os dados de densidade de raízes do cafeeiro segundo a distância do tronco e a faixa de profundidade pode ser visualizada nas Tabelas 2 a 7. Nelas, observamos que a concentração de raízes ocorre mais próxima ao tronco do cafeeiro e que se reduz à medida em que se distancia do tronco. Mesmo em regiões de maior distância do troco (120 cm) ou de maior profundidade (150 cm), constatou-se a presença de raízes finas do cafeeiro, mesmo que insignificante.

Tabela 2. Valores médios de massa de raízes de cafeeiro Obatã (mg cm^{-3}) observados em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade 150 cm nos tratamentos T1 e T2 em julho de 2003, as letras representam a distribuição a partir do tronco.

| Profundidade | Pontos de amostragens | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | C | B | A | E | F | G | D |
| ----- mg cm^{-3} ----- | | | | | | | |
| T1 (50 – 0 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,62 | 0,90 | 0,84 | 1,14 | 0,22 | 0,15 | 1,12 |
| 10 - 20 | 0,23 | 0,15 | 0,92 | 1,16 | 0,15 | 0,10 | 0,96 |
| 20 - 30 | 0,08 | 0,13 | 0,68 | 0,68 | 0,35 | 0,03 | 1,41 |
| 30 - 40 | 0,01 | 0,22 | 0,56 | 0,59 | 0,56 | 0,06 | 0,83 |
| 40 - 50 | 0,06 | 0,09 | 0,34 | 0,64 | 0,18 | 0,03 | 0,66 |
| 50 - 60 | 0,02 | 0,05 | 0,21 | 0,26 | 0,04 | 0,02 | 0,59 |
| 60 - 70 | 0,01 | 0,02 | 0,22 | 0,21 | 0,07 | 0,01 | 0,41 |
| 70 - 80 | 0,04 | 0,01 | 0,33 | 0,12 | 0,13 | 0,01 | 0,15 |
| 80 - 90 | 0,11 | 0,01 | 0,21 | 0,13 | 0,08 | 0,02 | 0,09 |
| 90 - 100 | 0,03 | 0,01 | 0,18 | 0,26 | 0,04 | 0,03 | 0,13 |
| 100 - 110 | 0,02 | 0,01 | 0,18 | 0,19 | 0,04 | 0,02 | 0,06 |
| 110 - 120 | 0,02 | 0,01 | 0,22 | 0,13 | 0,04 | 0,03 | 0,12 |
| 120 - 130 | 0,01 | 0,01 | 0,14 | 0,13 | 0,03 | 0,03 | 0,05 |
| 130 - 140 | 0,03 | 0,00 | 0,03 | 0,08 | 0,01 | 0,09 | 0,07 |
| 140 - 150 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,09 | 0,02 | 0,03 | 0,04 |
| T2 (50 – 10 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,22 | 0,05 | 1,75 | 0,94 | 0,23 | 0,12 | 1,22 |
| 10 - 20 | 0,05 | 0,09 | 0,44 | 0,62 | 0,16 | 0,13 | 1,90 |
| 20 - 30 | 0,02 | 0,04 | 0,32 | 0,46 | 0,07 | 0,06 | 0,72 |
| 30 - 40 | 0,01 | 0,03 | 0,36 | 0,12 | 0,03 | 0,04 | 0,22 |
| 40 - 50 | 0,00 | 0,07 | 0,21 | 0,40 | 0,03 | 0,05 | 0,18 |
| 50 - 60 | 0,02 | 0,14 | 0,13 | 0,38 | 0,03 | 0,05 | 0,21 |
| 60 - 70 | 0,01 | 0,06 | 0,18 | 0,22 | 0,03 | 0,03 | 0,19 |
| 70 - 80 | 0,01 | 0,05 | 0,23 | 0,13 | 0,12 | 0,02 | 0,08 |
| 80 - 90 | 0,02 | 0,06 | 0,34 | 0,06 | 0,03 | 0,01 | 0,11 |
| 90 - 100 | 0,01 | 0,10 | 0,23 | 0,14 | 0,00 | 0,04 | 0,09 |
| 100 - 110 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,26 | 0,00 | 0,02 | 0,06 |
| 110 - 120 | 0,01 | 0,03 | 0,09 | 0,09 | 0,00 | 0,03 | 0,03 |
| 120 - 130 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,05 | 0,01 | 0,03 | 0,04 |
| 130 - 140 | 0,02 | 0,01 | 0,08 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |
| 140 - 150 | 0,01 | 0,01 | 0,10 | 0,04 | 0,01 | 0,00 | 0,01 |

A, B, e C, respectivamente, 40, 80 e 120 cm do tronco no lado do gotejamento. E, F e G, respectivamente 40, 80 e 120 cm do tronco no lado sem gotejamento. D, entre plantas na linha.

Tabela 3. Valores médios de massa de raízes de cafeeiro Obatã (mg cm^{-3}) observados em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade 150 cm nos tratamentos T3 e T4 em julho de 2003, as letras representam a distribuição a partir do tronco.

| Profundidade | Pontos de amostragens | | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | C | B | A | E | F | G | D |
| ----- mg cm^{-3} ----- | | | | | | | |
| T3 (50 – 20 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,35 | 0,31 | 0,99 | 0,42 | 0,27 | 0,55 | 0,73 |
| 10 - 20 | 0,09 | 0,31 | 0,58 | 0,97 | 0,29 | 0,16 | 1,33 |
| 20 - 30 | 0,06 | 0,30 | 0,25 | 0,36 | 0,23 | 0,12 | 1,04 |
| 30 - 40 | 0,08 | 0,60 | 0,58 | 0,30 | 0,14 | 0,02 | 0,67 |
| 40 - 50 | 0,02 | 0,26 | 0,37 | 0,22 | 0,06 | 0,03 | 0,49 |
| 50 - 60 | 0,02 | 0,16 | 0,26 | 0,38 | 0,18 | 0,13 | 0,32 |
| 60 - 70 | 0,02 | 0,03 | 0,11 | 0,10 | 0,19 | 0,19 | 0,38 |
| 70 - 80 | 0,06 | 0,02 | 0,37 | 0,04 | 0,28 | 0,01 | 0,18 |
| 80 - 90 | 0,02 | 0,03 | 0,38 | 0,10 | 0,03 | 0,02 | 0,26 |
| 90 - 100 | 0,04 | 0,03 | 0,22 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,06 |
| 100 - 110 | 0,03 | 0,03 | 0,18 | 0,04 | 0,02 | 0,02 | 0,15 |
| 110 - 120 | 0,03 | 0,01 | 0,20 | 0,16 | 0,03 | 0,01 | 0,06 |
| 120 - 130 | 0,02 | 0,01 | 0,04 | 0,06 | 0,01 | 0,02 | 0,14 |
| 130 - 140 | 0,03 | 0,01 | 0,11 | 0,03 | 0,00 | 0,01 | 0,06 |
| 140 - 150 | 0,01 | 0,00 | 0,08 | 0,01 | 0,02 | 0,00 | 0,08 |
| T4 (80 – 0 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,11 | 0,08 | 0,96 | 0,71 | 0,09 | 0,12 | 1,60 |
| 10 - 20 | 0,06 | 0,15 | 0,10 | 0,39 | 0,15 | 0,05 | 1,98 |
| 20 - 30 | 0,03 | 0,20 | 0,15 | 0,16 | 0,27 | 0,02 | 1,39 |
| 30 - 40 | 0,01 | 0,18 | 0,35 | 0,62 | 0,46 | 0,19 | 0,76 |
| 40 - 50 | 0,01 | 0,12 | 0,34 | 0,17 | 0,47 | 0,05 | 0,54 |
| 50 - 60 | 0,02 | 0,18 | 0,41 | 0,58 | 0,17 | 0,05 | 0,53 |
| 60 - 70 | 0,04 | 0,17 | 0,55 | 0,35 | 0,12 | 0,01 | 0,47 |
| 70 - 80 | 0,03 | 0,37 | 0,49 | 0,09 | 0,09 | 0,06 | 0,19 |
| 80 - 90 | 0,04 | 0,05 | 0,48 | 0,33 | 0,09 | 0,06 | 0,31 |
| 90 - 100 | 0,04 | 0,03 | 0,40 | 0,14 | 0,06 | 0,01 | 0,21 |
| 100 - 110 | 0,04 | 0,02 | 0,10 | 0,22 | 0,12 | 0,01 | 0,06 |
| 110 - 120 | 0,02 | 0,07 | 0,19 | 0,38 | 0,01 | 0,01 | 0,09 |
| 120 - 130 | 0,01 | 0,03 | 0,13 | 0,10 | 0,06 | 0,01 | 0,09 |
| 130 - 140 | 0,01 | 0,05 | 0,05 | 0,08 | 0,01 | 0,01 | 0,10 |
| 140 - 150 | 0,02 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,01 | 0,01 | 0,18 |

A, B, e C, respectivamente, 40, 80 e 120 cm do tronco no lado do gotejamento. E, F e G, respectivamente 40, 80 e 120 cm do tronco no lado sem gotejamento. D, entre plantas na linha.

Tabela 4. Valores médios de massa de raízes de cafeeiro Obatã (mg cm^{-3}) observados em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade 150 cm nos tratamentos T5 e T6 em julho de 2003, as letras representam a distribuição a partir do tronco.

| Profundidade | Pontos de amostragens | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | C | B | A | E | F | G | D |
| -----mg cm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| T5 (80 – 10 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,12 | 0,36 | 0,40 | 0,73 | 0,76 | 0,75 | 1,41 |
| 10 - 20 | 0,04 | 0,47 | 0,37 | 0,88 | 0,40 | 0,40 | 1,61 |
| 20 - 30 | 0,04 | 0,30 | 0,49 | 0,69 | 0,10 | 0,09 | 1,09 |
| 30 - 40 | 0,10 | 0,09 | 0,41 | 0,48 | 0,08 | 0,08 | 1,39 |
| 40 - 50 | 0,04 | 0,10 | 0,22 | 1,01 | 0,16 | 0,09 | 0,50 |
| 50 - 60 | 0,05 | 0,13 | 0,26 | 0,70 | 0,08 | 0,10 | 0,46 |
| 60 - 70 | 0,05 | 0,03 | 0,34 | 0,31 | 0,11 | 0,16 | 0,42 |
| 70 - 80 | 0,03 | 0,02 | 0,15 | 0,80 | 0,06 | 0,06 | 0,35 |
| 80 - 90 | 0,03 | 0,06 | 0,16 | 0,36 | 0,10 | 0,03 | 0,36 |
| 90 - 100 | 0,04 | 0,11 | 0,29 | 0,25 | 0,06 | 0,04 | 0,16 |
| 100 - 110 | 0,04 | 0,06 | 0,36 | 0,39 | 0,05 | 0,02 | 0,17 |
| 110 - 120 | 0,03 | 0,05 | 0,08 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,15 |
| 120 - 130 | 0,02 | 0,06 | 0,10 | 0,06 | 0,09 | 0,02 | 0,12 |
| 130 - 140 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,04 | 0,12 | 0,02 | 0,19 |
| 140 - 150 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,06 | 0,07 | 0,01 | 0,14 |
| T6 (80 – 20 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,05 | 0,48 | 0,23 | 0,63 | 0,51 | 0,33 | 0,45 |
| 10 - 20 | 0,01 | 0,05 | 0,14 | 0,80 | 0,18 | 0,29 | 0,88 |
| 20 - 30 | 0,00 | 0,03 | 0,15 | 1,01 | 0,08 | 0,10 | 1,42 |
| 30 - 40 | 0,01 | 0,04 | 0,65 | 0,24 | 0,06 | 0,10 | 0,89 |
| 40 - 50 | 0,01 | 0,03 | 0,09 | 0,44 | 0,21 | 0,03 | 0,47 |
| 50 - 60 | 0,01 | 0,02 | 0,51 | 0,79 | 0,22 | 0,01 | 0,42 |
| 60 - 70 | 0,02 | 0,03 | 0,50 | 0,37 | 0,38 | 0,01 | 0,89 |
| 70 - 80 | 0,01 | 0,03 | 0,33 | 0,66 | 0,09 | 0,02 | 1,23 |
| 80 - 90 | 0,00 | 0,05 | 0,13 | 0,38 | 0,01 | 0,02 | 0,55 |
| 90 - 100 | 0,00 | 0,02 | 0,07 | 0,20 | 0,01 | 0,02 | 0,38 |
| 100 - 110 | 0,01 | 0,06 | 0,21 | 0,22 | 0,01 | 0,01 | 0,40 |
| 110 - 120 | 0,01 | 0,01 | 0,11 | 0,22 | 0,02 | 0,01 | 0,29 |
| 120 - 130 | 0,00 | 0,00 | 0,03 | 0,05 | 0,02 | 0,02 | 0,25 |
| 130 - 140 | 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,07 |
| 140 - 150 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,06 |

A, B, e C, respectivamente, 40, 80 e 120 cm do tronco no lado do gotejamento. E, F e G, respectivamente 40, 80 e 120 cm do tronco no lado sem gotejamento. D, entre plantas na linha.

Tabela 5. Valores médios de massa de raízes de cafeeiro Obatã (mg cm^{-3}) observados em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade 150 cm nos tratamentos T1 e T2 em fevereiro de 2004, as letras representam a distribuição a partir do tronco.

| Profundidade | Pontos de amostragens | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | C | B | A | E | F | G | D |
| -----mg cm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| T1 (50 – 0 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,85 | 0,68 | 2,33 | 2,47 | 0,94 | 0,48 | 2,91 |
| 10 - 20 | 0,32 | 0,38 | 0,73 | 0,97 | 0,38 | 0,08 | 1,14 |
| 20 - 30 | 0,14 | 0,65 | 0,49 | 0,27 | 0,11 | 0,06 | 1,03 |
| 30 - 40 | 0,11 | 0,30 | 0,75 | 0,57 | 0,08 | 0,10 | 0,90 |
| 40 - 50 | 0,10 | 0,45 | 1,14 | 0,55 | 0,04 | 0,05 | 0,73 |
| 50 - 60 | 0,16 | 0,23 | 0,77 | 0,56 | 0,03 | 0,02 | 0,51 |
| 60 - 70 | 0,06 | 0,21 | 0,39 | 0,43 | 0,02 | 0,03 | 0,58 |
| 70 - 80 | 0,08 | 0,07 | 0,29 | 0,29 | 0,10 | 0,03 | 0,86 |
| 80 - 90 | 0,03 | 0,03 | 0,35 | 0,35 | 0,05 | 0,02 | 0,44 |
| 90 - 100 | 0,01 | 0,07 | 0,14 | 0,32 | 0,04 | 0,02 | 0,25 |
| 100 - 110 | 0,04 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,03 | 0,04 | 0,16 |
| 110 - 120 | 0,44 | 0,20 | 0,15 | 0,21 | 0,02 | 0,02 | 0,11 |
| 120 - 130 | 0,06 | 0,02 | 0,06 | 0,33 | 0,03 | 0,04 | 0,05 |
| 130 - 140 | 0,01 | 0,02 | 0,05 | 0,27 | 0,06 | 0,06 | 0,08 |
| 140 - 150 | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,16 | 0,09 | 0,06 | 0,13 |
| T2 (50 – 10 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,65 | 0,41 | 0,67 | 0,90 | 0,43 | 0,46 | 2,44 |
| 10 - 20 | 0,51 | 0,06 | 0,24 | 0,42 | 0,40 | 0,21 | 1,38 |
| 20 - 30 | 0,08 | 0,25 | 0,22 | 0,18 | 0,33 | 0,24 | 0,71 |
| 30 - 40 | 0,06 | 0,24 | 0,67 | 0,18 | 0,40 | 0,04 | 0,37 |
| 40 - 50 | 0,03 | 0,09 | 0,25 | 0,46 | 0,31 | 0,05 | 0,35 |
| 50 - 60 | 0,01 | 0,16 | 0,08 | 0,76 | 0,21 | 0,11 | 0,65 |
| 60 - 70 | 0,02 | 0,13 | 0,24 | 1,06 | 0,39 | 0,12 | 0,56 |
| 70 - 80 | 0,13 | 0,19 | 0,06 | 0,41 | 0,11 | 0,12 | 0,61 |
| 80 - 90 | 0,02 | 0,03 | 0,20 | 0,76 | 0,14 | 0,21 | 0,88 |
| 90 - 100 | 0,01 | 0,03 | 0,08 | 0,06 | 0,13 | 0,15 | 0,24 |
| 100 - 110 | 0,01 | 0,06 | 0,05 | 0,35 | 0,05 | 0,21 | 0,27 |
| 110 - 120 | 0,02 | 0,01 | 0,13 | 0,22 | 0,03 | 0,03 | 0,12 |
| 120 - 130 | 0,02 | 0,15 | 0,03 | 0,14 | 0,05 | 0,05 | 0,09 |
| 130 - 140 | 0,03 | 0,13 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,02 | 0,06 |
| 140 - 150 | 0,01 | 0,15 | 0,02 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,07 |

A, B, e C, respectivamente, 40, 80 e 120 cm do tronco no lado do gotejamento. E, F e G, respectivamente 40, 80 e 120 cm do tronco no lado sem gotejamento. D, entre plantas na linha.

Tabela 6. Valores médios de massa de raízes de cafeeiro Obatã (mg cm^{-3}) observados em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade 150 cm nos tratamentos T3 e T4 em fevereiro de 2004, as letras representam a distribuição a partir do tronco.

| Profundidade | Pontos de amostragens | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | C | B | A | E | F | G | D |
| -----mg cm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| T3 (50 – 20 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,43 | 0,52 | 0,93 | 1,41 | 0,57 | 0,69 | 1,62 |
| 10 - 20 | 0,17 | 0,31 | 0,27 | 0,44 | 0,30 | 0,67 | 1,57 |
| 20 - 30 | 0,12 | 0,50 | 0,68 | 0,38 | 0,26 | 0,38 | 1,34 |
| 30 - 40 | 0,09 | 0,39 | 0,36 | 0,56 | 0,41 | 0,24 | 0,65 |
| 40 - 50 | 0,10 | 0,10 | 0,18 | 0,74 | 0,34 | 0,08 | 0,48 |
| 50 - 60 | 0,01 | 0,12 | 0,24 | 0,55 | 0,60 | 0,10 | 0,73 |
| 60 - 70 | 0,08 | 0,08 | 0,32 | 0,38 | 0,26 | 0,17 | 0,97 |
| 70 - 80 | 0,10 | 0,03 | 0,10 | 0,16 | 0,20 | 0,06 | 0,75 |
| 80 - 90 | 0,02 | 0,04 | 0,20 | 0,24 | 0,15 | 0,09 | 0,34 |
| 90 - 100 | 0,02 | 0,03 | 0,18 | 0,26 | 0,36 | 0,04 | 0,09 |
| 100 - 110 | 0,01 | 0,02 | 0,07 | 0,28 | 0,08 | 0,02 | 0,12 |
| 110 - 120 | 0,01 | 0,01 | 0,16 | 0,20 | 0,11 | 0,03 | 0,22 |
| 120 - 130 | 0,01 | 0,02 | 0,06 | 0,19 | 0,03 | 0,05 | 0,16 |
| 130 - 140 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,15 | 0,01 | 0,01 | 0,08 |
| 140 - 150 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,17 | 0,03 | 0,02 | 0,20 |
| T4 (80 – 0 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,60 | 0,14 | 0,91 | 1,19 | 0,72 | 0,67 | 1,42 |
| 10 - 20 | 0,19 | 0,09 | 0,56 | 0,38 | 0,35 | 0,14 | 1,46 |
| 20 - 30 | 0,06 | 0,19 | 0,22 | 0,41 | 0,28 | 0,15 | 1,00 |
| 30 - 40 | 0,02 | 0,49 | 0,29 | 1,09 | 0,85 | 0,05 | 0,51 |
| 40 - 50 | 0,01 | 0,28 | 0,35 | 1,21 | 0,44 | 0,03 | 0,50 |
| 50 - 60 | 0,02 | 0,31 | 0,19 | 0,91 | 0,25 | 0,02 | 0,62 |
| 60 - 70 | 0,03 | 0,16 | 0,20 | 0,81 | 0,46 | 0,06 | 0,38 |
| 70 - 80 | 0,03 | 0,19 | 0,07 | 0,31 | 0,39 | 0,05 | 0,24 |
| 80 - 90 | 0,01 | 0,24 | 0,03 | 0,46 | 0,38 | 0,03 | 0,23 |
| 90 - 100 | 0,01 | 0,05 | 0,12 | 0,27 | 0,07 | 0,03 | 0,12 |
| 100 - 110 | 0,02 | 0,11 | 0,07 | 0,22 | 0,04 | 0,01 | 0,14 |
| 110 - 120 | 0,01 | 0,06 | 0,08 | 0,09 | 0,03 | 0,01 | 0,17 |
| 120 - 130 | 0,01 | 0,05 | 0,14 | 0,05 | 0,02 | 0,03 | 0,10 |
| 130 - 140 | 0,01 | 0,02 | 0,04 | 0,05 | 0,03 | 0,02 | 0,08 |
| 140 - 150 | 0,01 | 0,02 | 0,09 | 0,07 | 0,02 | 0,01 | 0,06 |

A, B, e C, respectivamente, 40, 80 e 120 cm do tronco no lado do gotejamento. E, F e G, respectivamente 40, 80 e 120 cm do tronco no lado sem gotejamento. D, entre plantas na linha.

Tabela 7. Valores médios de massa de raízes de cafeeiro Obatã (mg cm^{-3}) observados em camadas de 10 cm em 10 cm até a profundidade 150 cm nos tratamentos T5 e T6 em fevereiro de 2004, as letras representam a distribuição a partir do tronco.

| Profundidade | Pontos de amostragens | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| | C | B | A | E | F | G | D |
| -----mg cm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| T5 (80 – 10 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,58 | 0,27 | 2,07 | 1,18 | 0,76 | 0,70 | 2,44 |
| 10 - 20 | 0,24 | 0,57 | 0,52 | 0,73 | 0,52 | 0,30 | 1,18 |
| 20 - 30 | 0,16 | 0,35 | 0,60 | 0,57 | 0,29 | 0,12 | 1,09 |
| 30 - 40 | 0,06 | 0,17 | 0,60 | 0,44 | 0,38 | 0,06 | 0,94 |
| 40 - 50 | 0,04 | 0,85 | 0,35 | 0,61 | 0,23 | 0,05 | 0,46 |
| 50 - 60 | 0,25 | 0,75 | 0,22 | 0,63 | 0,65 | 0,06 | 0,35 |
| 60 - 70 | 0,27 | 0,15 | 0,36 | 0,39 | 0,32 | 0,05 | 0,39 |
| 70 - 80 | 0,06 | 0,09 | 0,05 | 0,85 | 0,39 | 0,11 | 0,34 |
| 80 - 90 | 0,18 | 0,20 | 0,04 | 0,74 | 0,07 | 0,06 | 0,31 |
| 90 - 100 | 0,20 | 0,07 | 0,02 | 0,37 | 0,07 | 0,02 | 0,35 |
| 100 - 110 | 0,03 | 0,03 | 0,08 | 0,22 | 0,02 | 0,02 | 0,37 |
| 110 - 120 | 0,04 | 0,04 | 0,11 | 0,23 | 0,06 | 0,01 | 0,26 |
| 120 - 130 | 0,17 | 0,02 | 0,07 | 0,19 | 0,10 | 0,01 | 0,18 |
| 130 - 140 | 0,16 | 0,08 | 0,09 | 0,20 | 0,07 | 0,02 | 0,21 |
| 140 - 150 | 0,03 | 0,05 | 0,04 | 0,23 | 0,08 | 0,03 | 0,28 |
| T6 (80 – 20 cm) | | | | | | | |
| 0 - 10 | 0,75 | 0,25 | 0,91 | 1,08 | 0,33 | 0,10 | 1,18 |
| 10 - 20 | 0,13 | 0,25 | 0,20 | 0,41 | 0,42 | 0,08 | 1,06 |
| 20 - 30 | 0,29 | 0,33 | 0,10 | 0,36 | 0,23 | 0,02 | 0,72 |
| 30 - 40 | 0,31 | 0,63 | 0,16 | 0,63 | 0,02 | 0,02 | 0,46 |
| 40 - 50 | 0,21 | 0,18 | 0,31 | 0,56 | 0,09 | 0,01 | 0,41 |
| 50 - 60 | 0,06 | 0,17 | 0,35 | 0,65 | 0,04 | 0,03 | 0,46 |
| 60 - 70 | 0,02 | 0,17 | 0,45 | 0,60 | 0,08 | 0,02 | 0,18 |
| 70 - 80 | 0,01 | 0,15 | 0,34 | 0,31 | 0,22 | 0,01 | 0,13 |
| 80 - 90 | 0,02 | 0,09 | 0,10 | 0,70 | 0,04 | 0,01 | 0,09 |
| 90 - 100 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,17 | 0,04 | 0,01 | 0,04 |
| 100 - 110 | 0,03 | 0,01 | 0,09 | 0,49 | 0,04 | 0,01 | 0,04 |
| 110 - 120 | 0,11 | 0,01 | 0,16 | 0,45 | 0,01 | 0,04 | 0,06 |
| 120 - 130 | 0,10 | 0,00 | 0,18 | 0,27 | 0,03 | 0,02 | 0,15 |
| 130 - 140 | 0,10 | 0,02 | 0,07 | 0,26 | 0,17 | 0,02 | 0,17 |
| 140 - 150 | 0,08 | 0,00 | 0,04 | 0,15 | 0,03 | 0,01 | 0,11 |

A, B, e C, respectivamente, 40, 80 e 120 cm do tronco no lado do gotejamento. E, F e G, respectivamente 40, 80 e 120 cm do tronco no lado sem gotejamento. D, entre plantas na linha.

Os resultados obtidos pelos cálculos da profundidade efetiva do cafeeiro segundo os tratamentos impostos podem ser visualizados na Tabela 8. Foram duas épocas, na amostragem

de julho de 2003 a adubação de nitrogênio e potássio era então realizada por cobertura realizada por adubação de cobertura, na de fevereiro de 2004, já ocorreu uma possível influência da adubação de N e K por fertirrigação.

Na primeira coleta de raízes notou-se que a profundidade do tratamento T1 foi a menor e a do tratamento T5 a maior (34,8%). A profundidade efetiva média de 63 cm dos tratamentos espaçados a 50 cm é menor do que a média de 70 cm de profundidade efetiva dos tratamentos espaçados a 80 cm. Esse comportamento aponta para uma tendência de distinção na distribuição das raízes quando se usa diferente espaçamento entre emissores. Na coleta de raízes de fevereiro de 2004 notou-se uma tendência de um nivelamento da profundidade efetiva em um mesmo patamar. Nos tratamentos T1, T2 e T3, o aprofundamento médio da profundidade efetiva foi de 13%. De uma forma menos perceptível, os tratamentos T4, T5, tiveram aumento na superficialidade, 3,6 e 12,7% respectivamente, enquanto que o tratamento T6 teve um aumento da profundidade em 12,7%.

Tabela 8. Profundidade efetiva (cm) média de cada tratamento, seguida de seu respectivo erro padrão da média, no momento da primeira e segunda amostragem de raízes com a respectiva alteração em percentual da diferença entre ambos.

| Tratamento | Amostragem de julho de 2003 | Amostragem de fevereiro de 2004 | Alteração entre as duas amostragens (%) |
|------------|-----------------------------|---------------------------------|---|
| T1 | 54,1 ± 6,7 | 66,5 ± 2,7 | +22,9 |
| T2 | 65,4 ± 6,9 | 78,7 ± 3,6 | +20,3 |
| T3 | 68,9 ± 5,2 | 66,0 ± 6,3 | -4,2 |
| T4 | 68,7 ± 5,3 | 66,2 ± 2,4 | -3,6 |
| T5 | 72,9 ± 5,1 | 63,6 ± 5,1 | -12,8 |
| T6 | 67,1 ± 5,9 | 75,6 ± 5,3 | +12,7 |

Essa diferença entre os tratamentos observada na primeira amostragem está relacionada à forma de aplicação de fertilizantes granulados sob a projeção da copa do cafeeiro na superfície do solo. A irrigação por gotejamento por não molhar totalmente a

superfície do solo onde os fertilizantes foram aplicados prejudicou o transporte e o caminhamento destes em profundidade. Aliado a este fato, o efeito ascendente da capilaridade provavelmente retardou o aprofundamento dos nutrientes no solo.

Uma vez que em fertirrigação é intrínseca à umidade a presença de fertilizantes solubilizados facilmente disponíveis, a água de irrigação tende a transportar os nutrientes também até as camadas mais profundas do solo. Esse fato remete à possibilidade do sistema radicular superficializado encontrar, também em camadas profundas, nutrientes junto à água em regiões inferiores ao bulbo molhado. Essa variação na profundidade efetiva foi possível devido ao sistema radicular do cafeeiro tender a se moldar também segundo as condições de fertilidade do solo, concordando com Franco e Inforzato (1946).

A fertirrigação possibilitou diferentes condições de desenvolvimento radicular, para todos os pontos avaliados. Houve um ganho geral do experimento de 51,9% em densidade de raízes, porém, devido às diferentes configurações do sistema de irrigação, este comportamento não foi constante para todas as plantas. Além da fertirrigação, uma parte menor do desenvolvimento radicular poderia ser atribuída ao avanço da idade e porte das plantas. Porém, o fato de os ganhos de densidade radicular ocorrer diferentemente segundo os tratamentos nos permite concluir que grande parte destes são atribuídos a fertirrigação. Conforme pode ser visualizado na Tabela 9, a variação de desenvolvimento de raízes ocorre também segundo o ponto de amostragem.

Tabela 9. Ganho relativo da densidade de raízes (em %) para cada ponto de amostra por tratamento entre as amostras de julho de 2003 e fevereiro de 2004.

| Tratamentos | Pontos | | | | | |
|-------------|--------|--------|-------|------|-------|-------|
| | A | B | D | E | F | média |
| T1 | 53,3 | 108,2 | 47,8 | 35,7 | 2,2 | 49,4 |
| T2 | -35,8 | 156,1 | 73,2 | 50,8 | 288,7 | 106,6 |
| T3 | -19,4 | 5,5 | 56,8 | 91,1 | 106,4 | 48,1 |
| T4 | -29,4 | 36,4 | -17,2 | 71,4 | 98,5 | 31,9 |
| T5 | 40,0 | 94,8 | 7,3 | 11,0 | 76,8 | 46,0 |
| T6 | 9,4 | 163,35 | -39,1 | 16,5 | -1,7 | 29,7 |

Os pontos A e D foram aqueles em que se registraram as menores evoluções na densidade de raízes, encontrando nestes pontos até decréscimos em densidade radicular. Estes dois pontos são os mais próximos do emissor e possivelmente esta condição foi a responsável pelo reduzido desenvolvimento radicular neles observados. O fato de que irrigações freqüentes mantenham o bulbo úmido permanentemente sob altos teores de água podem recair em danos às raízes por conta desse excesso. Conjuntamente, os pontos E e F apresentaram maior ganho na densidade radicular do que os pontos A e B, respectivamente 70,7% e 48,5%. Este comportamento de maior ganho para os pontos mais distantes do emissor reforça a tese de que os altos conteúdos de água presentes no bulbo úmido tendam à reduzir o desenvolvimento radicular.

Os tratamentos T1, T2 e T3, tiveram em média crescimento da densidade radicular em 68,0% maior do que a média dos tratamentos T4, T5, T6, de 35,9%. Isso aponta para o espaçamento entre emissores de 50 cm como um possível favorecedor do desenvolvimento radicular. Possivelmente por que este tubogotejador forma uma faixa de umidade contínua, com uma melhor distribuição desta água ao longo da linha. O fato de o espaçamento entre emissores de 80 cm propiciar uma menor uniformidade de distribuição ao longo da linha pode ter acarretado em menor desenvolvimento radicular.

Os tratamentos T2 e T5 tiveram um ganho médio de 76,3%, valor observado superior às médias dos tratamentos T1 e T4, e T3 e T6, que respectivamente tiveram 40,7% e 38,9%. Essa maior evolução observada para os tratamentos com tubogotejadores enterrados a 10 cm de profundidade pode indicar o favorecimento da melhor dinâmica de nutrientes no solo.

Observando todo o perfil estudado, os pontos A e B tiveram um menor ganho de raízes do que os pontos E e F. Dentro da profundidade efetiva de cada ponto, a análise por intervalo de confiança do desvio padrão da média das plantas, confirmou para cada planta esta tendência para todos os tratamentos indistintamente, exceto para o tratamento T1. Avaliando o experimento como um todo, não houve tendência clara entre os tratamentos. Na amostragem de julho de 2003 o lado sem gotejamento tinha 19% mais regiões com densidade de raízes finas acima do intervalo de confiança do que lado com gotejamento. Na amostragem de fevereiro de 2004, essa diferença subiu para 54%. O inverso foi observado no que se refere a quantidade de amostras que possuíam densidade de raízes finas abaixo do desvio padrão. Na primeira coleta, o lado da planta onde tinha gotejamento tinha 33% mais pontos com densidade de raízes abaixo do desvio padrão do que o lado da planta que não tinha gotejamento. Mantendo esta tendência, na segunda coleta de raízes após a fertirrigação, o lado dos pontos E e F manteve 25% menos amostras em que a densidade de raízes está abaixo do desvio padrão. Rena e Guimarães (2000), afirmaram que em condições de hidratação ótima, o crescimento radicular tende a ser menor que numa condição de estresse moderado. Sob estresse a planta produz mais ácido abscísico, reduzindo o efeito do etileno, que é inibidor do crescimento radicular em comprimento. Além do mais, a condição de alto teor de água no bulbo úmido deve interferir na aeração, que é um fator importante para respiração das raízes. Segundo estes mesmos autores, o encharcamento dificulta a passagem do etileno pelos poros

do solo, que se concentra em níveis suficientes para retardar o desenvolvimento radicular. Com isso, é possível que o bulbo úmido tenha retardado o desenvolvimento.

No tratamento T1, o ganho de raízes na camada de 0 a 10 cm foi de 120%. Este comportamento destoou dos 44% de ganho médio avaliado para cada faixa de 0 a 70 cm dentro da profundidade efetiva. A quantidade de raízes de 0 a 150 cm de profundidade teve um ganho médio de 49,4% quando comparado com a primeira amostragem de raízes conforme pode ser visto na Tabela 9. Quando enterrados a 10 cm, os mesmos tubogotejadores propiciaram um proeminente ganho nas camadas de 30 a 80 cm, com 139%, com uma média dentro da profundidade efetiva de 86,9%. Ao longo de toda a profundidade estudada (0 a 150 cm), o ganho médio de raízes para o tratamento foi de 106,6%. Essa média alta foi garantida pelos pontos F e B, que obtiveram respectivamente 288,7% e 156,1%. Este comportamento aponta para melhores ganhos de raízes em densidade nas camadas mais profundas. No tratamento T3, dentro da profundidade efetiva, obteve-se um aumento médio na densidade de raízes por camada de 52%. Os maiores acréscimos à densidade de raízes ocorreram na faixa de 40 a 70 cm de profundidade, com 82,6% de ganho. Conforme se observa na Tabela 9, o ganho médio para o todo perfil estudado foi de 48,1%. Essa tendência de ganhos segundo as camadas de solo é condizente com a posição superficial dos emissores, porém cabe ressaltar que há influência do lado de instalação dos emissores, conforme discutido a seguir.

Os tubogotejadores de 80 cm de espaçamento instalados superficialmente obtiveram dentro da profundidade efetiva um aumento médio de 25,2%, porém de forma mais pronunciada na faixa de 30 a 50 cm de profundidade, com média de 52,8%. Observando a Tabela 9 nota-se que para todo o perfil estudado, o ganho foi de 31,9%, o que mostra que este tratamento proporcionou baixa produção de raízes, quando comparada com os tratamentos

discutidos anteriormente. Este tubogotejador enterrado a 10 cm teve um ganho de raízes dentro da profundidade efetiva de 29,9%, ganho similar ao observado neste tubogotejador instalado superficialmente. Já, dentro da profundidade efetiva, o maior ganho de raiz com a fertirrigação deu-se na camada de 40 a 70 cm de profundidade, com média de 39,8%. Ao longo de toda a profundidade estudada, o ganho médio foi de 46%. No tratamento T6, dentro da profundidade efetiva, obteve-se um decréscimo médio de 3,74% com o emprego da fertirrigação. Contudo, houve um ganho de densidade de raízes, principalmente na camada de 0 a 10 cm de profundidade e ao longo de todo o perfil estudado, com 63,7% e 29,7%, respectivamente. Este tratamento obteve a menor resposta à fertirrigação, com decréscimo na densidade média de raízes dentro da profundidade efetiva.

Na Tabela 10, são apresentados os resultados da distribuição lateral do sistema radicular segundo o lado da amostragem e os tratamentos impostos, em ambas as coletas. Observou-se que a distância efetiva calculada dos cafeeiros fertirrigados foi maior no lado dos pontos A e B do que no lado oposto a eles. Esse fato é contrário ao observado na amostragem de julho de 2003. O principal motivo deste comportamento pode ser atribuído ao maior ganho em concentração de raízes na região mais próxima do ramo ortotrópico principal, no lado dos pontos E e F. Esse comportamento pode levar à redução da distância efetiva, pois os 80% do total de raízes tenderão a se concentrar mais proximamente ao ramo ortotrópico. Estes resultados também são concordantes com o maior ganho em concentração de raízes no lado dos pontos E e F, lado oposto ao do tubogotejador.

Os pontos C e G apresentaram resultados discrepantes aos demais pontos, contudo, a representatividade destes pontos juntos no peso total de raízes é inexpressiva. Isso tende a mascarar resultados extrapolados para toda a planta. As médias de representatividade dos dois

pontos juntos na primeira e na segunda amostragem perfazia 7,7% e 11,8%. Essa baixa representatividade leva a distorções nos resultados de profundidade efetiva, pois a distribuição ao longo da profundidade é muito desuniforme. Os cálculos da concentração de 80% da zona radicular em distância concordam com esta afirmação. Os resultados deste cálculo estão presentes na Tabela 9, onde se observa que a distância efetiva de raízes em média não ultrapassou os 80 cm. Esse comportamento coincide com o observado por Inforzato e Junqueira (1963) que afirmaram que o sistema radicular dos cafeeiros das variedades Mundo Novo e Bourbon Amarelo, em sua grande maioria, não ultrapassou os 75 cm de distância do ramo ortotrópico principal.

Tabela 10 – Distância efetiva média de raízes (cm) por tratamento seguido do erro padrão da média, nas amostragens de julho de 2003 e de fevereiro de 2004 segundo o lado amostrado por tratamento.

| Tratamento | Amostragem de julho de 2003 | | Amostragem de fevereiro de 2004 | |
|------------|-----------------------------|--------------|---------------------------------|--------------|
| | Pontos A e B | Pontos E e F | Pontos A e B | Pontos E e F |
| T1 | 63,5 ± 4,2 | 62,7 ± 3,2 | 70,0 ± 2,7 | 52,9 ± 3,2 |
| T2 | 55,7 ± 2,5 | 66,1 ± 3,4 | 71,6 ± 2,9 | 78,6 ± 3,8 |
| T3 | 63,7 ± 3,7 | 73,5 ± 2,9 | 72,6 ± 3,5 | 69,9 ± 3,1 |
| T4 | 61,4 ± 3,4 | 59,9 ± 2,9 | 68,9 ± 2,6 | 67,2 ± 2,7 |
| T5 | 67,1 ± 1,9 | 63,6 ± 3,0 | 86,7 ± 2,4 | 58,1 ± 2,5 |
| T6 | 50,1 ± 2,6 | 59,6 ± 4,3 | 85,1 ± 3,4 | 49,6 ± 2,6 |

Pontos A e B, E e F: Referente ao lado da amostragem, segundo Figura 1.

Conforme se observa na Tabela 11, notou-se em T1 no lado dos pontos A e B dentro da profundidade efetiva que houve um ganho de 29,7% em distância efetiva a partir do ramo ortotrópico, e no lado oposto, houve uma redução de 2,4%. Já no tratamento T2, houve aumentos em distância efetiva para ambos os lados. Contudo no lado dos pontos A e B um maior ganho em distância efetiva dentro da profundidade efetiva, 38,2%, contra 20% no lado dos pontos E e F. O tratamento T3, dentro da profundidade efetiva no lado dos pontos A e B

teve um acréscimo de 20,5% na distância efetiva das raízes, também maior quando comparado com o lado oposto, 12,4%. O tratamento T4 propiciou um aumento de 23,6% na distância efetiva no lado dos pontos A e B dentro da profundidade efetiva, contra um aumento de 12,3% do lado oposto na mesma faixa de profundidade. O tratamento T5 permitiu um aumento na distância efetiva em 28,5% no lado dos pontos A e B, ao passo que o lado oposto teve um aumento de 6,1%. O tratamento T6 gerou um aumento na distância efetiva de 68,8%, no lado dos pontos A e B, contra uma redução na distância efetiva de 8,9% no lado oposto.

TABELA 11. Variação na distância efetiva média das raízes (%) relativa à diferença dos valores da primeira e segunda coleta para os pontos A e B para os pontos E e F, dentro da profundidade efetiva (P.E.) e ao longo de toda a profundidade estudada (150 cm).

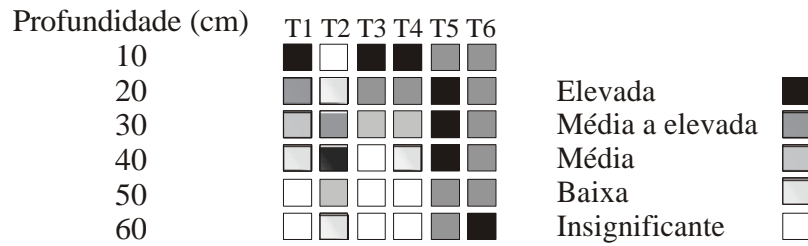
| Tratamento | Lado dos pontos A e B | | Lado dos pontos E e F | |
|------------|-----------------------|------------|-----------------------|------------|
| | P.E. | até 150 cm | P.E. | até 150 cm |
| T1 | 29,7 | 20,6 | -02,4 | -11,7 |
| T2 | 38,2 | 30,8 | 20,0 | 24,6 |
| T3 | 20,5 | 18,3 | 12,4 | -02,8 |
| T4 | 23,6 | 24,0 | 12,3 | 16,2 |
| T5 | 28,5 | 32,6 | 06,1 | -5,1 |
| T6 | 68,8 | 77,5 | -08,9 | -7,9 |

Como pode se observar na Tabela 11, para o lado dos pontos A e B, o aumento da distância efetiva dentro da profundidade efetiva foi maior do que ao longo de todo o perfil, tendendo a ocorrer evolução negativa no lado dos pontos E e F. Houve relação no ganho de densidade radicular no lado oposto ao do tubogotejador, pontos E e F, e as menores distâncias nas que se concentram os 80% da zona radicular. Isto porque, a menor densidade radicular é a responsável pela necessidade de se somar maior quantidade de raízes, aumentando a distância necessária para a totalização dos 80% das raízes. O oposto parece ser verdadeiro, maiores densidades de raízes próximas ao ramo ortotrópico principal implicam em menor necessidade de soma das raízes em regiões de menor densidade delas, geralmente a maiores distâncias da planta. O fato de existir variação no desenvolvimento das raízes concorda com o afirmado por

Franco & Inforzato (1946), que observaram variação na distribuição das raízes em solos com diferentes edáficas, embora o sistema de gotejamento imprimisse grande variação nas condições de umidade e nutricionais dentro do mesmo solo (BERNARDO, 1984; ZUR, 1996) interferindo no desenvolvimento radicular.

A interceptação do sistema radicular efetivo (80%) realizada pelos bulbos úmidos formados nas figuras 3 A, 3 B, 3 C e 3 D foi respectivamente de 17,51; 11,9%; 41,6 e 34%. Os valores estão abaixo do recomendado mínimo (50 % do volume total de raízes), porém é suficiente para melhorar a condição hídrica do cafeeiro.

Apesar de a quantidade de solução extraída exigisse diluições em 15 vezes por não ter sido suficiente para proporcionar boa leitura pelos aparelhos, notou-se tendências nos resultados. Os resultados expressos na leitura não refletem a quantidade de potássio encontrada nos extratos do solo, mas aponta para a tendência da distribuição do elemento em profundidade. Notou-se uma tendência de aprofundamento das maiores concentrações de K conforme a profundidade de enterrio dos tubogotejadores. Esta tendência não foi observada por T3, possivelmente pela amostragem neste tratamento não ter obtido volumes suficientes à uma boa leitura nas camadas de 40 e 60 cm. Estes resultados são semelhantes aos anotados por Li et al. (2004), que observaram a maior presença de amônia nas regiões mais próximas aos emissores quando também não aplicaram uma lâmina de água para afastamento de sais dos emissores. Provavelmente este efeito não foi verificado nos tubogotejadores espaçados a 50 cm pelo fato de que a sobreposição dos bulbos proporcione provavelmente em um transporte lateral da água com nutrientes no solo.

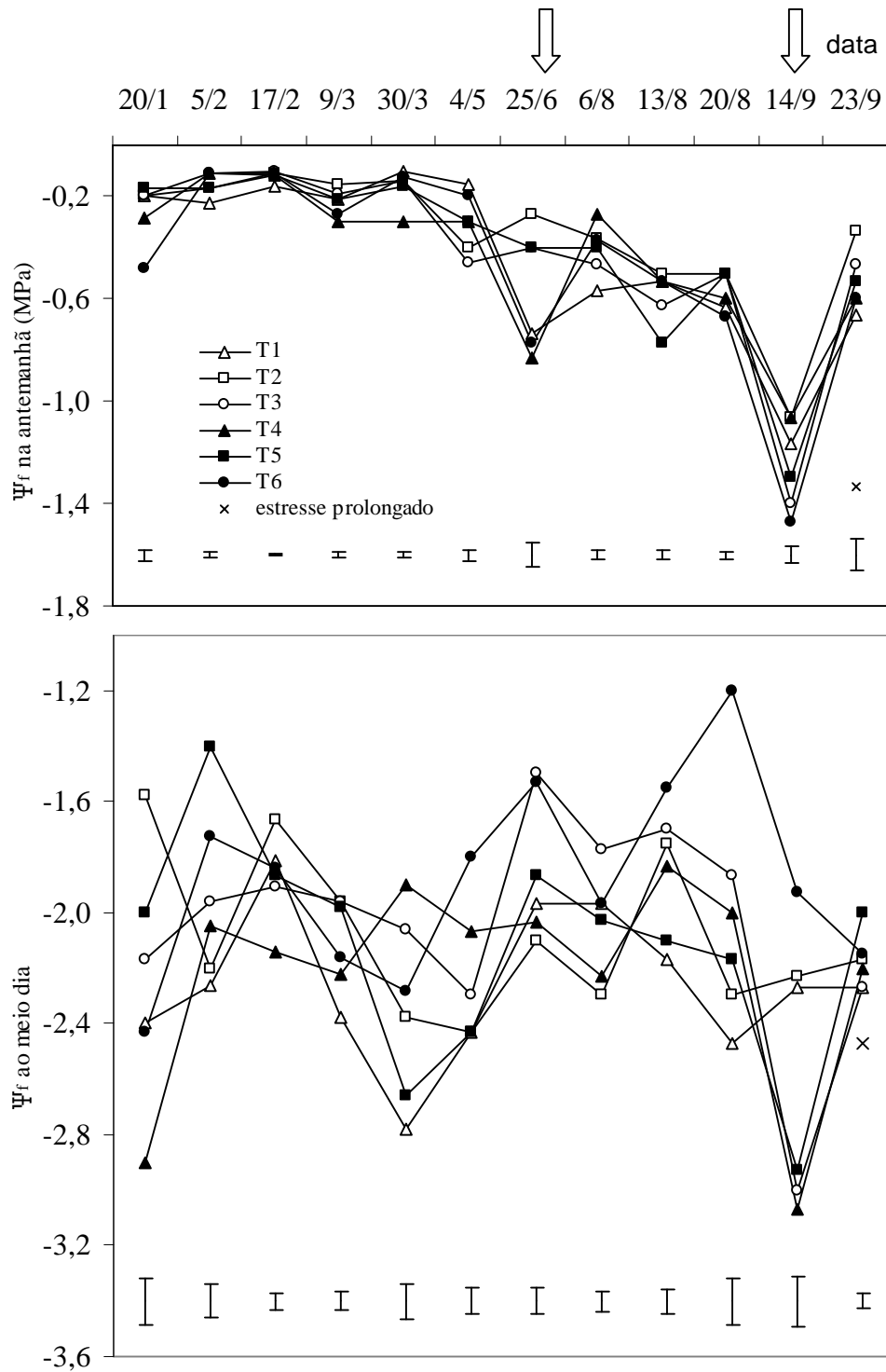


Quadro 1. Tendência de concentração de nutrientes em profundidade

Possivelmente a extração da solução de solo não obteve completo êxito pelo fato de não ter sido realizada conforme Dimeinstein (2001), que recomenda a aplicação de vácuo por seringas em um período de 1 a 2 horas.

4.4. Potencial da água na folha

A determinação do potencial da água na planta (Ψ_f) ao alvorecer expressa melhor a interação do potencial da água na planta e no solo, sem interferência das condições climáticas. Na figura 4 podemos observar o comportamento do potencial da água no xilema da folha ao longo do ano nos horários da antemanhã e no meio dia. Na antemanhã, a diferença entre o potencial da água na folha do cafeeiro no período de irrigação e no período de déficit hídrico refletiu as condições hídricas do solo, concordando com Silva, (2004). Os cafeeiros irrigados mantiveram um potencial hídrico foliar médio de $-0,20$ MPa na antemanhã, contra $-0,67$ 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, exceto para o dia 14/09/2004, que apresentou os maiores valores do período



SETAS: Representam respectivamente a primeira avaliação do Ψ_f após a imposição do déficit hídrico (25/6) e a última avaliação (14/9) logo após o término do déficit hídrico imposto. BARRAS: Representam o erro padrão da média.

Figura 5. Potencial da água na folha (Ψ_f) na antemanhã e ao meio dia ao longo do ano segundo os tratamentos impostos.

estudado. As médias do ψ_f , antes e depois da submissão das plantas ao estresse, foram de 2,12 MPa e 2,06 MPa respectivamente.

Ao longo do ano, na antemanhã, as plantas sob a configuração dos tubogotejadores com 80 cm de espaçamento entre emissores enterrados a 20 cm de profundidade apresentaram menor média de potencial da água na folha, -0,48 MPa. Conforme visualiza-se na Figura 5, há maior participação do tratamento em picos negativos do ψ_f e, dentre estes extremos, o maior atingido na antemanhã no ano, -1,47 MPa, foi em 14 de setembro. O período que contribuiu para que este tratamento tivesse a menor média do ano neste horário foi a época de estresse hídrico imposto. Porém, este comportamento não foi suficiente para apontar a configuração de gotejamento que condiciona à planta as piores condições hídricas.

Os tubogotejadores de 50 cm de espaçamento entre emissores instalados superficialmente proporcionaram o segundo pior resultado no suprimento de água à cultura na antemanhã ao longo do ano, em média -0,45 MPa. Contudo, neste horário, somente após a suspensão das irrigações, as plantas sob o tratamento T1 apresentaram tal quadro. Soma-se a este tratamento, a menor média do potencial da água na folha no meio dia ao longo do ano, -2,27 MPa. Neste horário, o tratamento T1 manteve-se na época de irrigação como o tratamento de menor potencial da água na folha, em média -2,34 MPa. Já sob déficit hídrico este tratamento proporcionou o terceiro pior *status* hídrico às plantas, -2,17 MPa.

Ao meio dia, a segunda menor média de potencial da água na folha ao longo do ano se observou no tratamento T4, com -2,22 MPa. Neste mesmo horário, durante a época de déficit hídrico este tratamento condicionou suas plantas ao menor valor médio do período estudado, -2,23 MPa. Contudo, durante a época de irrigações, este tratamento proporcionou a

segunda pior condição hídrica às plantas avaliadas, -2,21 MPa. Na antemanhã durante a época da irrigação, este tratamento teve a menor média do potencial da água na folha, -0,24 MPa.

Observando conjuntamente os tratamentos T1 e T4, notamos que temos a superficialidade na instalação como característica comum nestas configurações. Os comportamentos descritos anteriormente indicam que esta condição superficial do sistema acarreta as piores condições hídricas às plantas. O maior consumo de água realizado pelas raízes superficiais aliada ao poder de dessecação da água no solo pela atmosfera, condição comum em fontes pontuais superficiais (PHILIP, 1997), provavelmente foram os principais agravantes na disponibilização de água às plantas sob o tratamento T1 e T4. Efeito que é maximizado para o tratamento T1, que teve o maior ganho de raízes superficialmente, 120% na camada de 0 a 10 cm de profundidade, e como provável consequência disso, obteve as piores condições de hidratação às suas plantas. Outro fato é que as plantas do tratamento T1 tiveram a menor profundidade efetiva de raízes na primeira coleta, 54,1 cm e, na segunda coleta, não se manteve entre os tratamentos de maior profundidade efetiva, com 66,5 cm. Esta tendência à concentração superficial refletiu negativamente no *status* hídrico da planta, pois para uma melhor condição de hidratação as plantas deveriam apresentar um sistema radicular aprofundado. Isto porque, nas camadas superiores do solo o conteúdo de água atinge mais facilmente faixas próximas do ponto de murcha permanente (apud RENA e GUIMARÃES, 2000), isso ocorre devido à evaporação da água no solo ser maior nos extratos superficiais.

Por outro lado, ao longo do ano na antemanhã, os tubogotejadores com 50 cm de espaçamento entre emissores enterrados a 10 cm de profundidade proporcionaram a maior média de potencial da água na folha, -0,35 MPa. Embora de difícil visualização, observa-se na Figura 5 que houve maior permanência do tratamento em potenciais de água da folha menos

negativos, quando comparados aos demais tratamentos. Também se observou sob este tratamento as plantas com o maior pico no potencial da água na folha na antemanhã do ano, $-0,10$ MPa. Ao meio dia, as plantas sob o tratamento T6 mantiveram-se dentre aquelas com o maior potencial da água na folha, principalmente após a suspensão do sistema de irrigação. Isso lhes conferiu, neste horário, a maior média do potencial da água na folha ao longo do ano, $-1,88$ MPa, e o maior pico deste no ano, $-1,2$ MPa. Por outro lado, notou-se neste tratamento na antemanhã a pior condição hídrica. Conforme se observa na Tabela 3, este tratamento foi o que teve o menor ganho em densidade de raízes, $29,7\%$, contra uma média de $51,1\%$ para todos os tratamentos. Isso pode imprimir nas plantas uma menor habilidade em se re-hidratar mais rapidamente ao longo do período noturno. Por outro lado, esse menor ganho em densidade de raízes pode influenciar na velocidade do consumo e esgotamento da água no solo, repercutindo positivamente nos horários de maior demanda hídrica atmosférica. Ou seja, a menor densidade de raízes esgotaria menos a água do solo, mantendo nele níveis de umidade capazes de manter a planta hidratada nos horários de maior temperatura e evapotranspiração.

Durante a época das chuvas e irrigações, o tratamento que possibilitou a melhor condição hídrica aos cafeeiros foi o T1, com $-0,17$ MPa. Por outro lado, o tratamento T4 condicionou sua plantas à menor média do potencial da água na folha neste horário neste período, $-0,24$ MPa. O fato de estes tratamentos apresentarem condições hídricas opostas nas antemanhã durante o período irrigado é discrepante com a condição hídrica semelhante entre estes mesmos tratamentos ao meio dia. Logo, provavelmente o fato de o tratamento T1 apresentar maior ganho de raízes que o tratamento T4, respectivamente $49,4$ e $31,9\%$, pode ter interferido na capacidade de hidratação das plantas ao longo do período noturno.

No período das secas na antemanhã, o tratamento T2 proporcionou a melhor capacidade de manutenção de altos valores do potencial da água na folha dos cafeeiros, $-0,54$ MPa. Esta habilidade de manutenção do potencial da água na folha num patamar mais elevado são reflexos do tratamento que proporcionou maior desenvolvimento radicular. Por outro lado, o tratamento T6, que teve o menor ganho de raízes, obteve a menor média do potencial da água na folha na antemanhã no período da seca, $-0,76$ MPa.

Durante o período de irrigação, foram realizadas fertirrigações com potássio e nitrogênio, ambos importantes nas relações hídricas do cafeeiro. À medida que se adiciona N, a planta tem o seu controle estomático e a sua capacidade de extração de água dos solos melhorados. O principal motivo pelo qual estes efeitos ocorrem está no aumento da rigidez da parede celular, e na melhoria no controle osmótico da turgidez celular e, por conseqüência, há uma melhor manutenção de melhores potenciais hídricos foliares (DA MATTA et al., 2002). Por isso, é provável que, ao longo das fertirrigações, com sucessivas aplicações de nitrogênio e potássio, a nutrição tenha nivelado os potenciais da água na folha a um patamar semelhante quando comparando o observado no início dos trabalhos em 20/01 até o final do período de irrigações em 04/05/2004, conforme se observa na Figura 5.

O fato de os tratamentos T1, T2 e T3 formarem uma faixa contínua de umidade no solo (Figura 3, A, C, E) refletiu sutilmente no potencial da água na folha, estes tratamentos tiveram a média de $-0,41$ MPa, enquanto os tratamentos T4, T5 e T6 obtiveram média de $-0,45$ MPa.

4.4.1. Comportamento diário do potencial da água no xilema da folha (Ψ_f)

A determinação diária do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro mostrou o comportamento hídrico do cafeeiro sob diferentes configurações de gotejamento ao longo de diferentes condições ambientais ocorridas em um dia. Nesta avaliação podemos ver a capacidade de regulação estomática das plantas na manutenção do potencial da água da planta. Outro fato observado foi a capacidade de hidratação das plantas após os períodos de maior demanda atmosférica. Os dias e os valores utilizados na formação dos comportamentos médios foram expostos nos Apêndices G e H.

Na variação diária do Ψ_f sob irrigação média dos dias 17 de janeiro, 9 de março e 23 de setembro, nota-se o menor valor de Ψ_f nos horários das 10:00 às 14:00. De uma forma geral, o potencial da água na folha medido nos horários da antemanhã, 7:00, 16:00 e 17:00 estão em faixas abaixo daqueles verificados 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 16:00 da tarde. Conforme se observa na Figura 6, este tratamento proporcionou menor capacidade de aumento do potencial da água na folha. Possivelmente pelo fato deste tratamento ter possibilitado o segundo menor ganho de raízes 31,9%.

Na Figura 7 onde 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 da manhã e 14:00, os tratamentos T1 e T4 proporcionaram os menores potenciais da água no

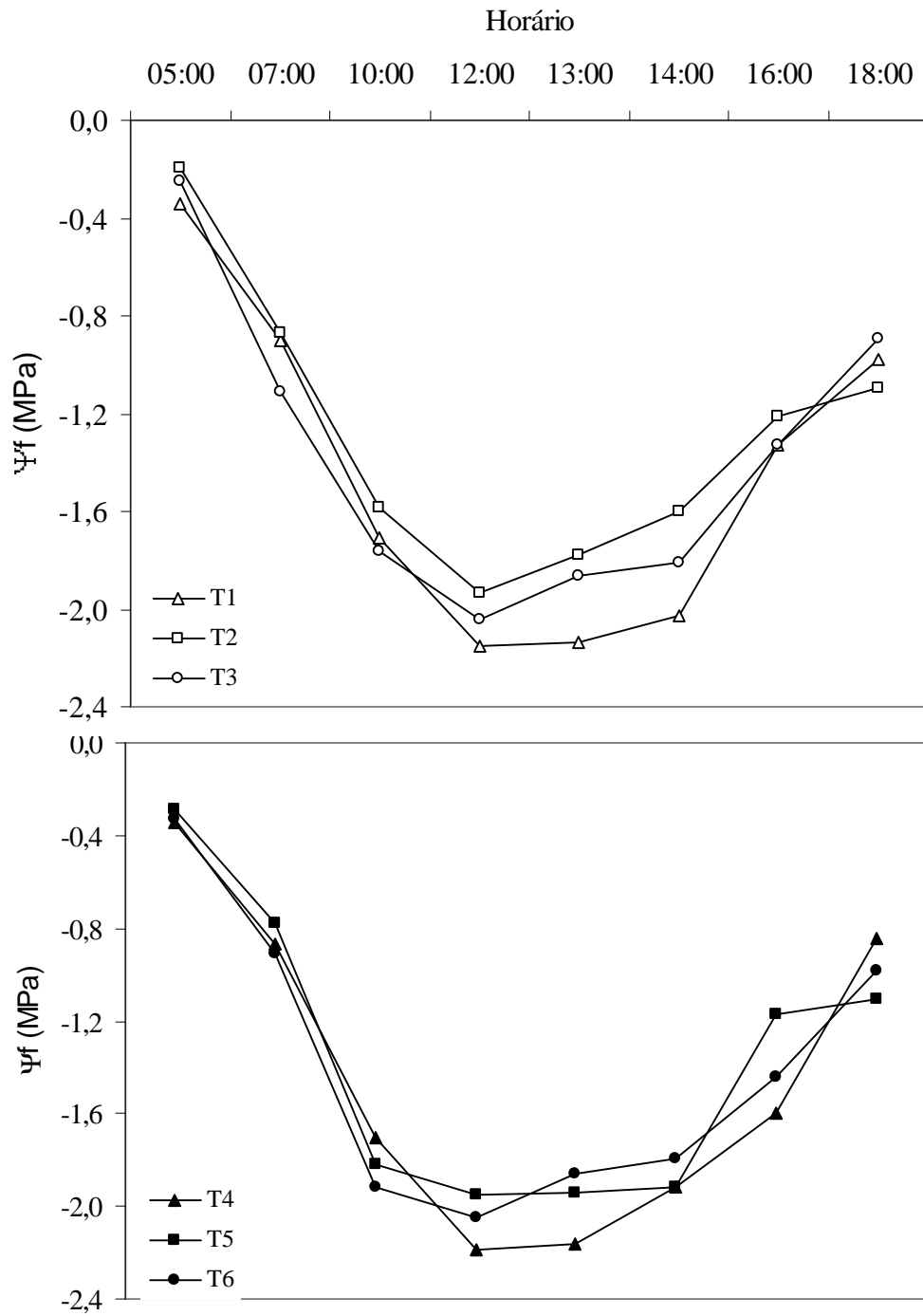


Figura 6. Comportamento médio do potencial da água no xilema da folha (Ψ_f) do cafeeiro durante período irrigado segundo os diferentes tratamentos impostos, utilizando três dias semelhantes.

xilema da folha. A média destes tratamentos ao longo do dia foi respectivamente, -1,50 e -1,55, os mais baixos do dia. Este comportamento manteve-se ora de maneira significativa ora não significativa. O tratamento T4 na maior parte do tempo demonstrou-se insignificamente menor, porém manteve-se durante maior parte do tempo 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 tratamento que manteve o maior potencial médio da água na folha foi o T2, com -1,36 MPa, não coincidentemente, este tratamento foi aquele que obteve maior ganho de raízes. Isso mostra a capacidade de aproveitamento da água disponível destas plantas na manutenção de maiores valores do potencial da água na folha.

Ainda observando a figura 7, nota-se que na inclinação das curvas formadas entre o horário das 7:00 e das 10:00, que há uma redução mais rápida do potencial da água na folha. Isso pode revelar que neste período houve maior fechamento estomático no dia. Os tratamentos T4, T5 e T6 apresentaram uma curva mais inclinada no final do período da tarde, porém no sentido de aumento do potencial da água na folha. Isto pode revelar que, entre 4:00 e 6:00 da tarde, a planta teve a maior abertura estomática do dia. Pelo motivo destas plantas terem um menor ganho de raízes, ao longo do dia as plantas obtiveram uma menor habilidade em recuperarem a água perdida por transpiração, com conseqüente maior fechamento estomático e manutenção mais prolongada de menores potenciais da água na folha.

Ao observarmos a Figura 8, vemos o término do dia com chuva. O tratamento T1 aparece ao longo de todo o dia com o menor ψ_f . Assim como se observa na Figura 6, os tratamentos T2, T3, T5 e T6 mantiveram potenciais da água na folha maiores do que os tratamentos T1 e T4. Por outro lado, este gráfico revela a sensibilidade do método para

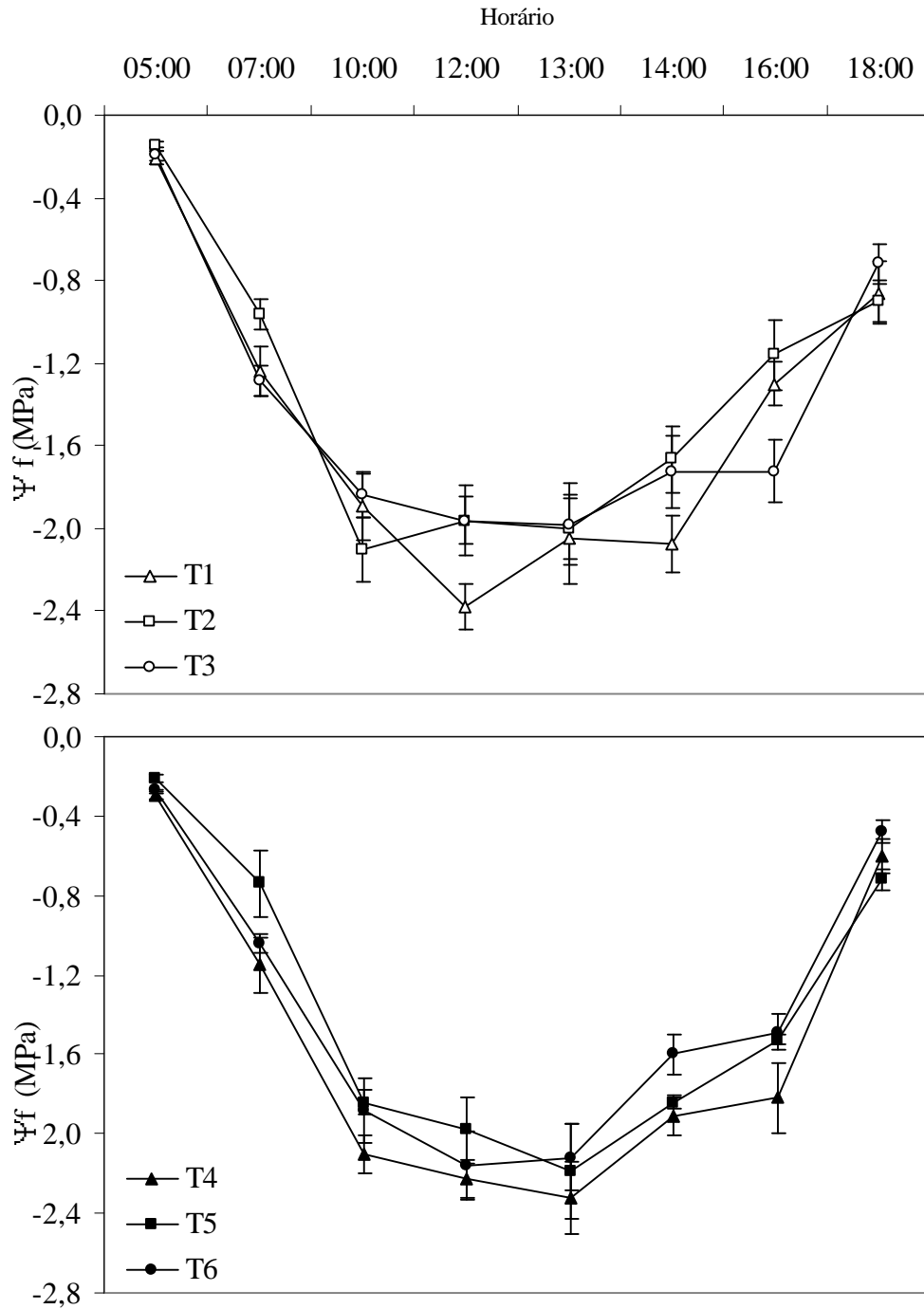


Figura 7. Potencial da água no xilema da folha (Ψ_f) do cafeeiro ao longo do dia 9/03/2004, as barras representam o erro padrão da média.

detecção na planta de variações edafoclimáticas, concordando com Silva et al. (2001). Isto porque no horário de 13:00, momentos antes das chuvas já aparecem reduções no ψ_f das plantas como resposta à presença de nuvens e aumento brusco da umidade relativa. Após as chuvas, o ψ_f aumentou para valores semelhantes aos ocorridos no período da manhã. Isso concorda com Oliveira (1995), que afirma existir uma grande facilidade de recuperação do potencial da água na folha.

Os tratamentos T4, T5 e T6 demonstraram maior sensibilidade na resposta às mudanças nas condições ambientais. No horário das 13:00 que antecede a chuva do dia, o aumento do potencial da água na folha indica que este tratamento condicionou melhor a planta de café ao aumento do ψ_f . Principalmente porque quando outros fatores que não a água do solo são minimizados, ocorre imediata recuperação do ψ_f . Ou seja, uma vez reduzida a demanda atmosférica por água, estas plantas que obtiveram um menor ganho de raízes esgotaram menos a água do solo, favorecendo a volta de maiores potenciais da água na folha quando a demanda atmosférica por água é reduzida.

Independentemente dos tratamentos aqui observados, um comportamento semelhante foi observado por Brunini e Angelocci, (1998) em mudas de *Coffea arabica* L na recuperação do potencial hídrico foliar após um período de estresse hídrico. Os autores constataram um rápido aumento do potencial hídrico no xilema da folha inicial após o molhamento do solo, porém limitando-se em seguida em decorrência da maior resistência do transporte de água pelas nas raízes. Na Figura 8 observa-se em todos os tratamentos o comportamento atribuído à primeira fase de recuperação, de rápido aumento do potencial hídrico foliar que antecede uma recuperação mais lenta.

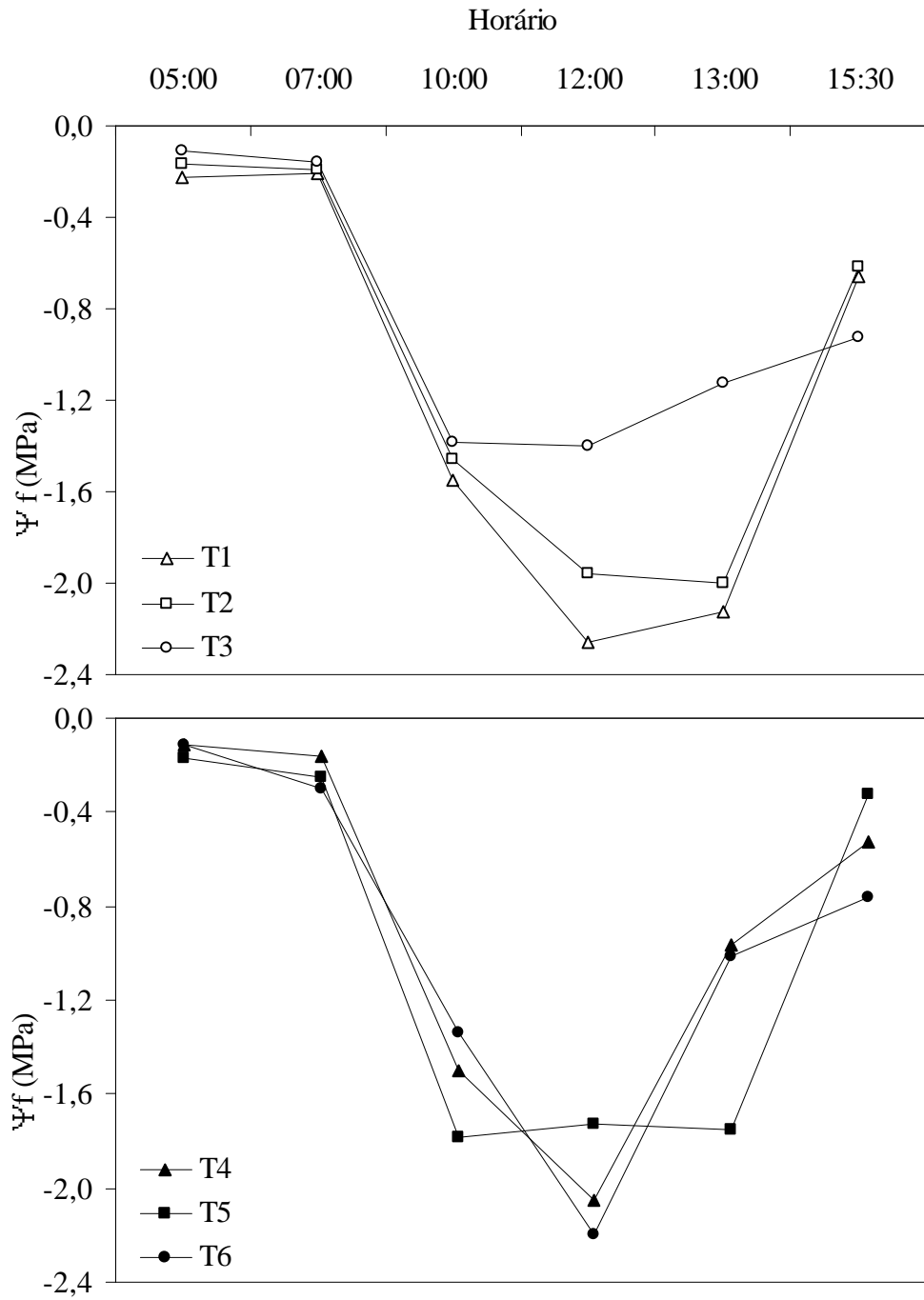


Figura 8. Potencial da água no xilema da folha (Ψ_f) ao longo do dia 5/02/04 com precipitação às 14:00.

Durante o período das secas, a variação do ψ_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 ψ_f , antemanhã, 7:00, 16:00 e 17:00 mantiveram-se abaixo do ψ_f médio de 2,03 MPa verificado no horário entre 10:00 e 14:00. O gradiente entre os horários de menor e maior ψ_f no inverno foi menor do que o verificado no verão. Para os tratamentos T3, T4, T5 e T6, o potencial da água na folha da antemanhã, 7:00, 16:00 e das 17:00 foram significativamente inferiores aos observados entre os horários das 10:00 e 14:00. Nestes últimos horários, os valores estavam acima do intervalo de confiança do desvio padrão da média. Porém, os tratamentos T1 e T2 mantiveram o valor do potencial da água na folha acima do intervalo de confiança até o horário das 16:00, conforme se observa na Figura 9. Isso mostra que a plantas tiveram menor capacidade de recuperação do potencial da água na folha.

O comportamento das plantas T1 e T2 provavelmente está ligado ao sistema radicular. O tratamento T1 condicionou as plantas a terem maior ganho de raízes nas camadas superficiais do solo, região de maior perda de água do solo por evaporação. O tratamento T2 foi aquele que apresentou maior produção de raízes, acarretando em maior consumo de água e, conseqüentemente maior esgotamento. Conforme se observa na Tabela 12, a quantidade de água armazenada nas camadas superficiais foi menor em 3 dos 4 dias nas plantas sob o tratamento T2 enquanto que, o tratamento T1 manteve-se entre aqueles que apresentaram os menores valores ao longo do período de avaliação da umidade. A faixa de profundidade com menor quantidade de água armazenada ao longo do período de estresse foi a de 0 a 20 cm, agravando o quadro das plantas que apresentaram maior desenvolvimento radicular nesta faixa de profundidade, caso do tratamento T1.

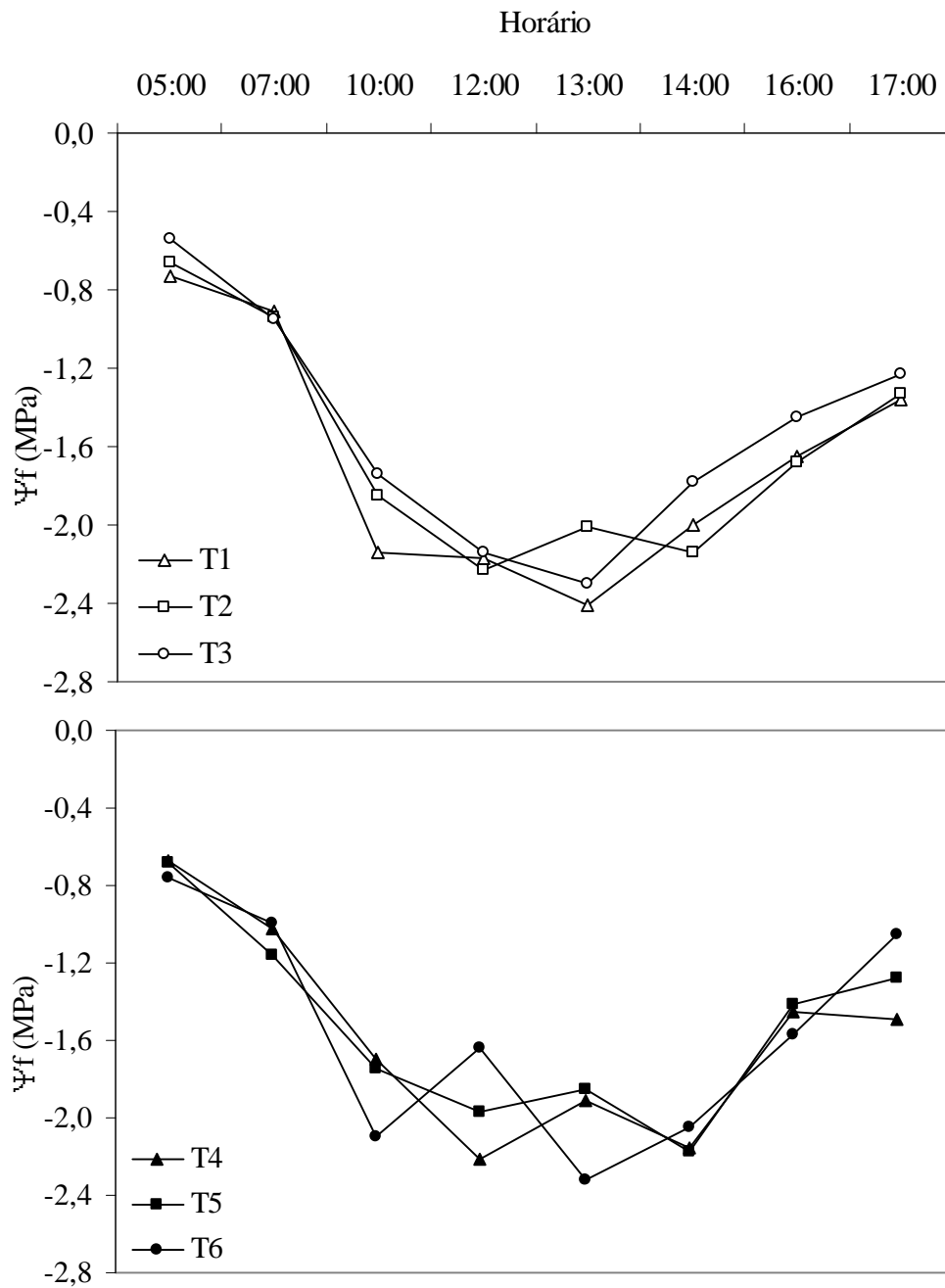


Figura 9. Comportamento médio do potencial da água (Ψ_f) no xilema da folha do cafeeiro ao longo do dia na estação seca segundo os diferentes tratamentos impostos de todos os dias do déficit hídrico imposto.

Durante o período de déficit hídrico imposto, notou-se que houve uma veemente redução no potencial da água na folha do cafeeiro, quando comparada com a redução dos níveis de água armazenadas no solo (Figura 5 e Tabela 12). Este fato pode estar relacionado à condição fisiológica que as plantas de café se encontravam em 14 de setembro, início de florada. Segundo Astegiano (1998), para a ocorrência da florada, as flores recebem água translocada das folhas vizinhas. Esse fato concorda com D'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.

Tabela 12. Umidade do solo, U, (% em peso seco) em período de déficit hídrico na camada superficial do solo, 0 a 20 cm de profundidade.

| Tratamento | Dia | | | |
|------------|-------------------|--------|--------|--------|
| | 06/ago | 13/ago | 20/ago | 14/set |
| | ----- U (%) ----- | | | |
| T1 | 18,1 | 17,4 | 16,7 | 18,4 |
| T2 | 18,6 | 17,2 | 16,2 | 17,8 |
| T3 | 18,4 | 17,7 | 17,8 | 20,5 |
| T4 | 17,6 | 17,3 | 16,9 | 17,9 |
| T5 | 18,4 | 17,6 | 16,9 | 18,7 |
| T6 | 18,2 | 18,3 | 17,1 | 18,3 |

No dia 13/08/2004, durante o déficit hídrico imposto, notou-se na avaliação do ψ_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 10, houve uma grande variabilidade no comportamento do potencial da água no xilema da folha do cafeeiro com o déficit hídrico. O tratamento T2 neste dia possibilitou melhores condições hídricas às plantas ao longo do dia, comportando-se contrariamente a média observada para todo o período de estresse hídrico.

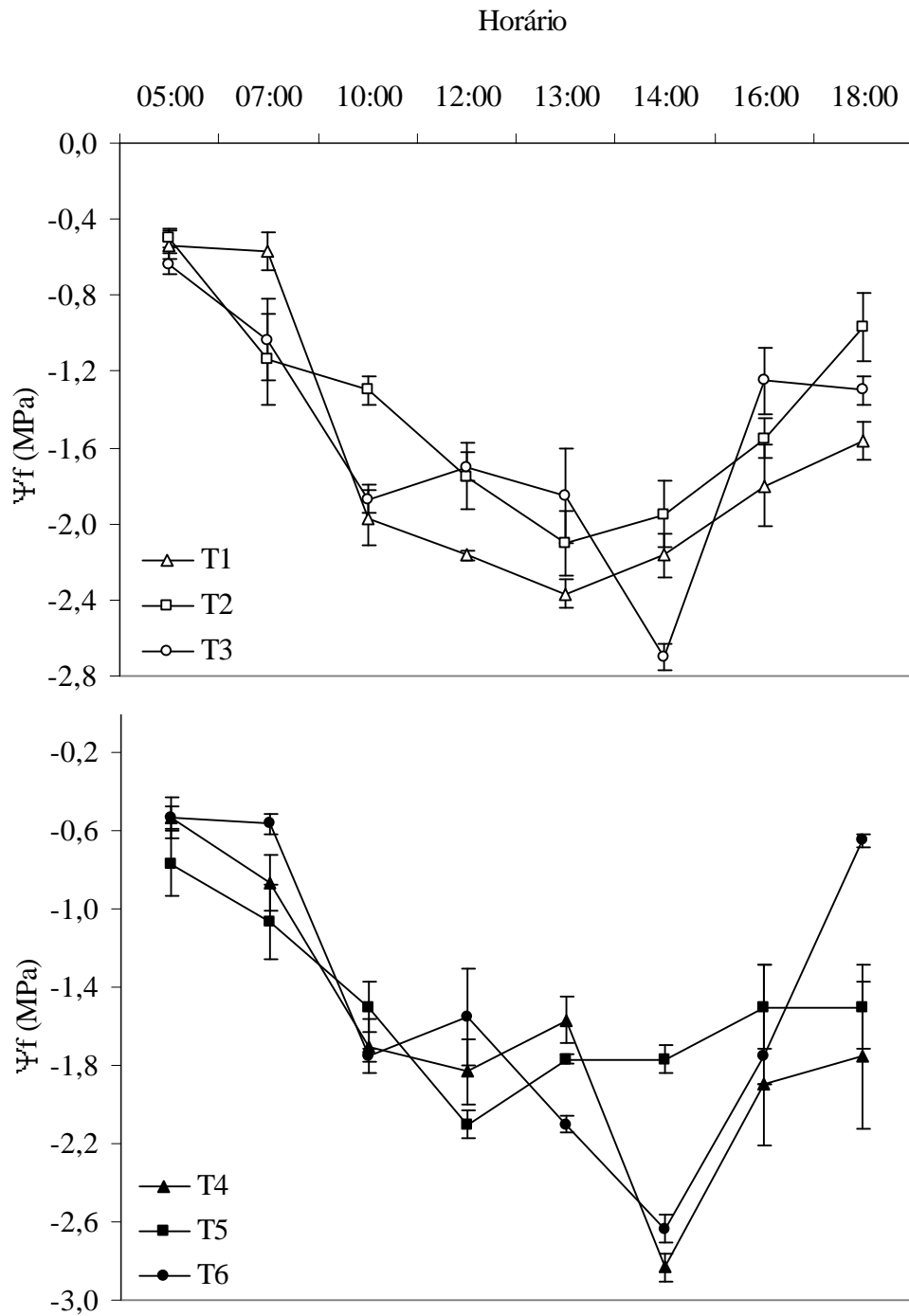


Figura 10. Potencial da água no xilema da folha (Ψ_f) do cafeeiro ao longo do dia 13/08/04, as barras representam o erro padrão da média.

No dia 23/09, 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 ψ_f dos tratamentos irrigados proporcionaram um *status* hídrico dos seus cafeeiros significativamente melhor do que nos tratamentos não irrigados. Por outro lado, o tratamento T6, que obteve o menor desenvolvimento radicular foi aquele que demonstrou a menor habilidade em manter-se hidratado 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 estes resultados são concordantes com o observado por Soares (2001), que para os cafeeiros da cultivar Catuaí IAC 44 foram observados o ψ_f médio de $-0,2$ MPa nos cafeeiros irrigados continuamente, $-1,9$ MPa para os cafeeiros sob suspensão das irrigações de 90 dias. As plantas sob déficit hídrico continuado mantiveram-se sob significativo menor potencial da água no xilema da folha, exceto nos horários das 12:00 e 13:00, que embora maiores não foram significativos, conforme se observa na Figura 11. Ao longo do dia, o ψ_f médio para os tratamentos não irrigados foi de $-2,46$ MPa, contra $-1,75$ MPa daqueles irrigados. Rodrigues et al. (2003) observaram que os tratamentos irrigados ao longo do ano obtiveram a média de ψ_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 estes valores são menores aos que observamos para os tratamentos T4, T5 e T6, respectivamente $-1,63$ MPa, $-1,63$ MPa e $-1,65$ MPa. Logo, neste 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, proporcionou menores valores de ψ_f .

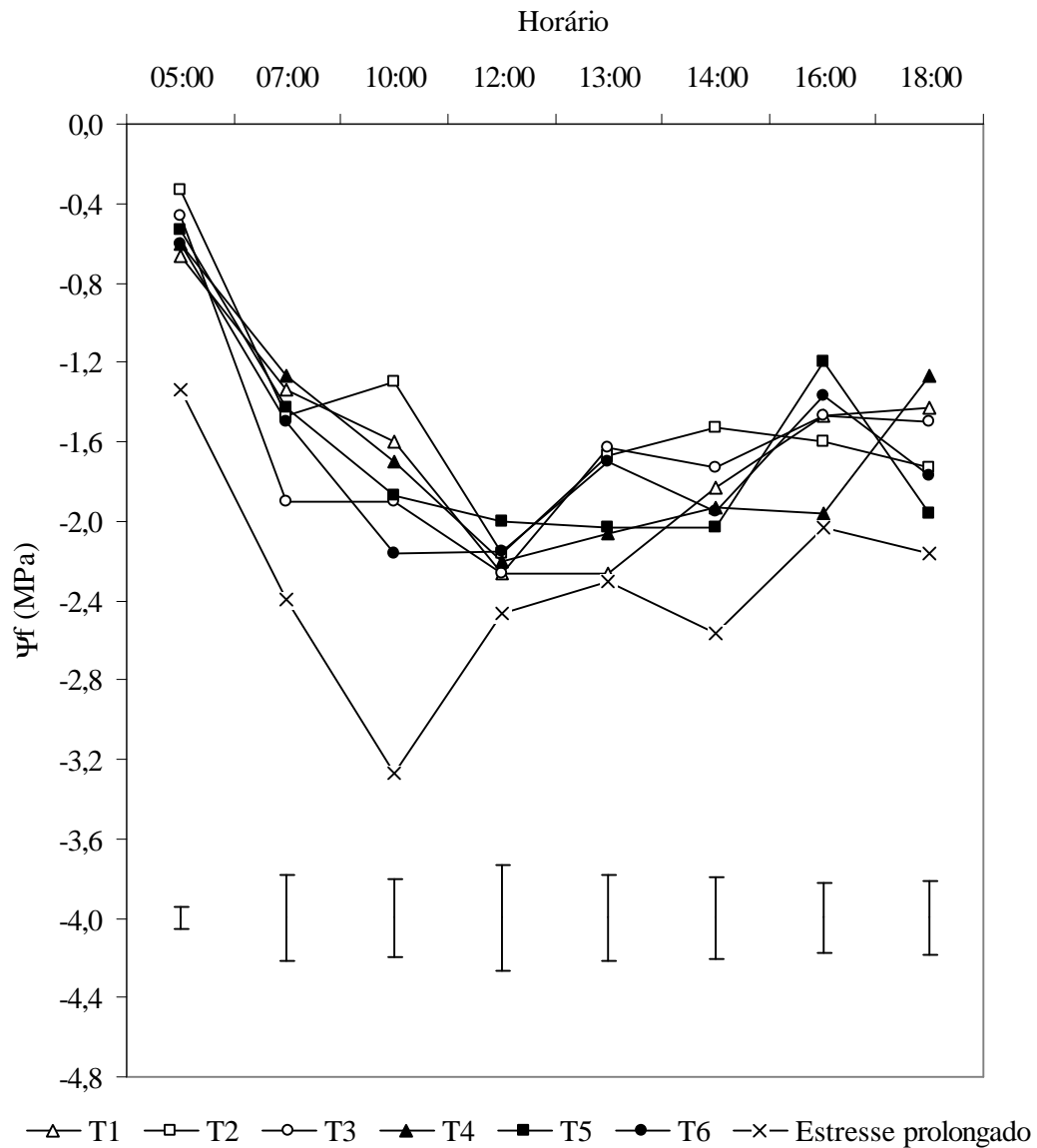


Figura 11. Comportamento do potencial da água na folha (Ψ_f) dos tratamentos irrigados e das plantas sob estresse hídrico prolongado, em 23/09/2004, as barras representam diferença mínima significativa.

O potencial da água na folha mostrou-se relacionada ao desenvolvimento do sistema radicular. O sistema radicular do cafeeiro por sua vez desenvolveu-se condicionadamente ao molhamento propiciado pelas diferentes configurações de gotejamento impostas.

4.5. Cronologia da florada

O comportamento das plantas de café irrigadas e sob déficit hídrico controlado podem ser visualizados na Figura 12. Nela, observamos que as plantas que permaneceram sob déficit hídrico prolongado obtiveram maior quantidade de plantas em florescimento no início da avaliação da florada. Contudo, o estresse imposto não possibilitou a manutenção de plantas que entram no florescimento. As plantas irrigadas sob o tratamento T1 por sua vez, obtiveram condições de manter um ritmo tendendo a constante de plantas que entravam na fase do florescimento, implicando em término mais adiantado no florescimento. Este tratamento ao longo do ano apresentou a menor média do potencial da água na folha, permanecendo em um patamar de estresse mais elevado do que os demais tratamentos irrigados. O tratamento T1 possibilitou maiores níveis de estresse hídrico, e teve como resultado principal o adiantamento da florada, concordando com Drinnan & Menzel (1994). Porém, o tratamento que possibilitou o maior adiantamento da florada foi o que impôs déficit hídrico prolongado (Figura 11). Este tratamento ao longo do dia manteve o potencial da água na folha em níveis significativamente menores, fato que comprometeu a manutenção da sincronia da florada. Com isso, verifica-se que a irrigação condicionou positivamente ao florescimento o cafeeiro, destacando a importância da disponibilidade da água nesta fase reprodutiva, concordando com Drinnan & Menzel (1994), Astegiano et al. (1998), D’Haeze et al. (2003), Soares et al (2000).

Observando os tratamentos que utilizam tubogotejadores com emissores espaçados a 50 cm notou-se uma tendência de término mais adiantado da florada do que as plantas irrigadas com tubogotejadores espaçados a 80 cm de distância. A evolução adiantada do florescimento nos dois últimos dias de avaliação para plantas que foram irrigadas com emissores com 50 cm de espaçamento revelou a melhor condição de molhamento do solo proporcionada por este tubogotejador, conforme se observa na Figura 3 - A, B, C e D.

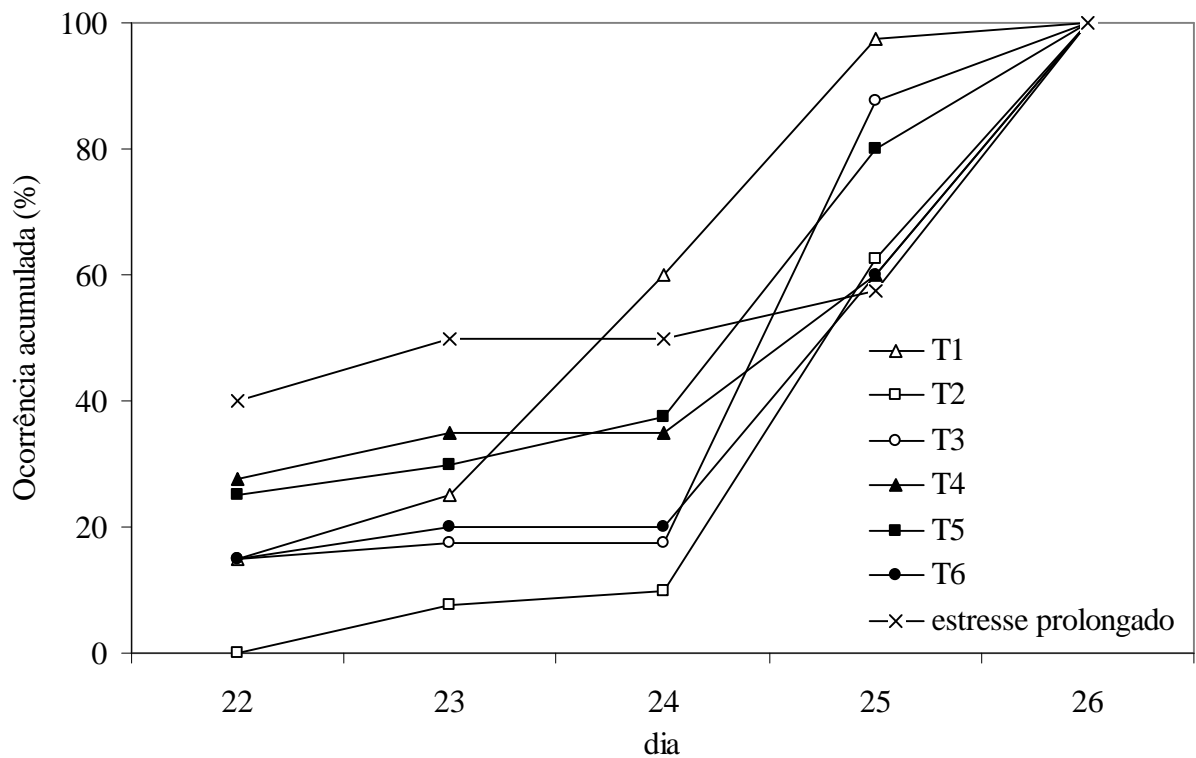


Figura 12. Cronologia da florada segundo o percentual acumulado de anteses no período de 22 a 26 de setembro.

5. CONCLUSÕES

O bulbo úmido proporcionado pelo tratamento que utiliza tubogotejadores com espaçamento entre emissores de 50 cm formou uma zona molhada mais contínua no solo ao longo da linha. Os tubogotejadores enterrados apresentaram uma menor superfície evaporativa da água no solo. Para solos com 60% de argila, o espaçamento de 60 cm entre emissores possibilitaria a continuidade no molhamento do solo.

O bulbo úmido interferiu no desenvolvimento radicular do cafeeiro reduzindo a densidade de raízes, provavelmente devido ao alto conteúdo de água da zona molhada. A aplicação de água aliada à adubação de cobertura propiciou profundidades efetivas diferentes conforme a configuração entre emissores. Quando se realiza a fertirrigação há uma tendência de igualamento da profundidade efetiva, devido ao veiculamento de nutrientes às regiões mais profundas do bulbo úmido. Isso se fez presente na profundidade efetiva média de 65 cm para os tratamentos de 50 cm contra 70 cm médios para os tratamentos de 80 cm. Após a fertirrigação não houve aparente distinção entre os tratamentos que usam emissores de 50 ou de 80 cm de espaçamento. A redução na distância efetiva com o emprego da fertirrigação revela maior concentração de raízes próximo à planta no lado onde não ocorre o gotejamento. O uso de tubogotejadores de 50 cm possibilitam maior molhamento da zona radicular, porém nenhum tratamento possibilitou uma zona molhada que molhasse mais que 50% do raizame. O maior molhamento radicular proporcionado pelo tubogotejador com 50 cm de espaçamento proporcionou desenvolvimento radicular superior aos tratamentos de 80 cm, respectivamente 68% e 35%.

Notou-se que o desenvolvimento radicular interferiu na fisiologia da planta no que se refere ao potencial da água na folha. Notou-se a permanência dos tratamentos instalados superficialmente entre aqueles de menores médias do potencial da água na folha, na antemanhã, -0,48 e -0,45 MPa, respectivamente T6 e T1, e no meio dia -2,27 e -2,22 MPa, respectivamente para T1 e T4. Possivelmente este fato está relacionado maior área molhada que permite maior evaporação direta da água do solo. Essa condição somada ao longo do ano refletiu no tratamento T1 em florada com evolução cronológica mais constante. O tratamento que condicionou às plantas maiores ganhos de raiz proporcionou às suas plantas melhor habilidade em extrair água do solo. Esta última característica é vantagem na manutenção do *status* hídrico da planta quando há boa disponibilidade de água, e caracteriza-se desvantagem na época das secas. Plantas que tiveram menor desenvolvimento radicular tinham melhor controle estomático no controle da perda de água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, E.L., FAHL, J.I., CARELLI, M.L.C. Estudo fisiológico da parte aérea e do sistema radicular e nutrição mineral de quatro espécies de *Coffea* e um híbrido natural, visando conhecer seus potenciais para utilização como porta-enxertos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3, 2003, Porto Seguro. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 68.

ALVES, M.E.B., FARIA, M.A., GUIMARÃES, R.J., MUNIZ, J.A., SILVA, E.L. Crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferente lâminas de irrigação e fertirrigação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. Anais... Brasília: Embrapa Café e Minasplan, 2000. v.2., p.920 - 923.

AMARAL, J.F.T. *Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica*. 2002. 97 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ANTUNES, R.C.B., MANTOVANI, E.C., SOARES, A.R., RENA, A.B., BONOMO, R. Área de observação e pesquisa em cafeicultura irrigada na região das vertentes de Minas Gerais: Resultados de 1988 / 2000. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000. Poços de Caldas. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2000a. v.2, p.823-826.

ANTUNES, R.C.B., RENA, A.B., MANTOVANI, E.C., ALVARENGA A.P., COSTA, L.C., DIAS, A.S.C. Influência da fertirrigação com nitrogênio e potássio nos componentes vegetativos do cafeeiro arábica em formação. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2000b. v.2, p.802-806.

ANTUNES, R.C.B., RENA, A.B., MANTOVANI, E.C. Fertirrigação na Cultura do Cafeeiro Arábica. Viçosa: Associação dos Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Universidade Federal de Viçosa, 2001. 39 p.

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.

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, 63, 3. p. 529 – 533. July – 1998.

AUTO DESK. AutoCAD Technical Publications. www.autodesk.com/techpubs/autocad. Acessado em 01/2005.

BARROS, R.S., MAESTRI, M., RENA, A.B., Physiology of growth and production of the coffee tree – a review. *Journal of Coffee Research*. 27 (1). 1999. p. 1-54.

BARROS, R.S., MOTA, J.W. da S., DA MATTA, F.M., MAESTRI, M. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. *Field crops research*, Amsterdam, 54, p. 65 – 72, August, 1997.

BERNARDO, S. Irrigação por gotejamento. In:_____. *Manual de irrigação*. 3 ed, Viçosa: Imprensa Universitária, Viçosa, 1984. p. 389 – 392.

BRUNINI, O. e ANGELOCCI, L.R. Resistência ao fluxo de água no sistema solo-planta e recuperação do potencial da água na folha após estresse hídrico em mudas de cafeeiro. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, 10 (1). Janeiro 1998. p. 45 – 50.

CAMARGO, A.P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões (cafeeiras) do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. Brasília, 20 (7). Julho-1985. p. 831-839.

D'HAENZE, 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, 63, p. 185-202, December, 2003.

DA MATTA, F.M., Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, 16, 1, p.1-6, Jan – Abr, 2004a.

DA MATTA, F.M., Ecophysiological constraints on the production of shaded and unshaded coffee: a review. *Field Crops Research*, Amsterdam, 86, p.99-114, Março, 2004b.

DA MATTA - A, F.M., 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, 16, p. 555-558, November, 2002.

DA MATTA, 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*, Amsterdam, 164, p. 111 – 117, January, 2003.

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

DIMENSTEIN, L. Método de monitoramento nutricional da solução do solo para manejo da fertirrigação. In: Irrigação da cafeicultura no cerrado. SANTOS, C.M dos, MENDONÇA, F.C., MELO, B de, TEODORO, R.E.F., SANTOS, V.L.M. dos. Uberlândia: UFU, 2001. p.173-177.

DRINNAN, J.E. e MENZEL, C.M. Synchronization of anthesis and enhancement of vegetative growth in coffee (*Coffea arabica* L.) following water stress during floral initiation. *Journal of horticultural Science*, Ashford, England. 69, 5, p. 841 – 849. September – 1994.

EMBRAPA - Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília: Serviço de Produção da Informação, 1999.

FAO - Food and Agriculture Organization - Organização das Nações Unidas - ONU. <http://apps.fao.org/faostat/collections?version=ext&hasbulk=0&subset=agriculture>, acessado em 12/01/2004.

FERLINI, P. de B. *Normas para desenho técnico* ABNT. In:_____. Norma Geral de Desenho Técnico. Porto Alegre: Globo. Rio de Janeiro: Fundação Nacional de Material Escolar, 1981. p. 25-30.

FRANCO, C.M. e INFORZATO, R. O sistema radicular do cafeeiro nos principais tipos de solo do estado de São Paulo. *Bragantia*.Campinas, 6. Setembro-1946. p.443 - 458.

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. v2, pg 917 – 919.

FUJIWARA, M., KURACHI, S.A.H., ARRUDA, F.B., PIRES, R.C. de M., SAKAI, E. *A técnica de estudo de raízes pelo método do trado*, Boletim técnico nº153. Instituto Agrônômico, Campinas. 1994. 9 p.

GOMEZ, K.A. e GOMEZ, A.A. *Statistical procedures for agricultural research with emphasis on rice*. Philippines: The International Rice Research Institute, 1976. 294p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. www.ibge.gov.br - economia PAM (produção agrícola municipal) acessado em 12/01/2004

INFORZATO, R. e REIS, A.J. Estudo comparativo do sistema radicular dos cafeeiros Bourbon Amarelo e Mundo Novo. *Bragantia*. Campinas, 22. Novembro-1963. p.742-750.

KARASAWA, S.; EGUCHI, E. S.; IGARASHI, G. da S.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N. Salinidade na água de irrigação no desenvolvimento radicular da muda do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ & SAÚDE, 3, 2003, Porto Seguro. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2003. p. 148.

LI, J., ZHANG, J., RAO, M. Wetting patterns nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. *Agricultural Water Management*. February, 2004. p. 89-104.

MANTOVANI, E.C. A irrigação do cafeeiro; A fertirrigação na cultura do café. IN: _____.Zambolim, L. *Café, Produtividade, Qualidade e Sustentabilidade*, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 263-322.

MEDINA SAN JUAN, J.A. Riego por goteo: Teoria y Practica. In:_____.Introduccion _____.Operacion y funcionamiento del sistema. 2 ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1985. p 15 – 21, 119 – 131.

NETO, D.E. *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.

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.

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, 17, p. 127 - 135, May, 1997.

PINHEIRO, H.A., DA MATTA, F.M., 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., DA MATTA, F.M., 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

RENA, A.B. e GUIMARÃES, P.T.G. *Sistema Radicular do Cafeeiro: Estrutura, Distribuição, Atividade e Fatores que o influenciam*. Belo Horizonte: Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais. 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

SAKAI, E., GALLO, P.B., FAHL, J.I., ARRUDA, F.B., IAFFE, A., PIRES, R.C. de M., CALHEIROS, R. de O. Efeito do desenvolvimento do sistema radicular na produtividade do cafeeiro enxertado em Mococa, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2000. v.1, p. 58-61.

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, A.M., LIMA, E.P., COELHO, G., COELHO, M.R., COELHO, G.S. Influência do potencial hídrico foliar e da irrigação na produtividade do café – cv Catuaí. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAFEICULTURA IRRIGADA, 4, 2001, Araguari. Anais. Viçosa: UFV, 2001, p 20 – 24

SILVA, A.M., LIMA, E.P., SILVA, E.L., COELHO, G., COELHO, M.R., COELHO, G.S., CASTRO, F.R. Avaliação do Status Hídrico do café sob efeito de irrigação através de

algumas características fisiológicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1, 2000, Poços de Caldas. Anais. Brasília: Embrapa Café, 2000. v.2, p. 914 - 916.

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

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) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas.

SIQUEIRA, R. e PAVAN, M.A., Crescimento de raízes de cafeeiros em camadas compactadas de um solo ácido com e sem restrições químicas. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, Curitiba, v. 40, n. 1, 1997. p. 1-8.

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.

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 a 851.

SOUZA, C.F. *A utilização da reflectometria no domínio do tempo (TDR) na modelagem do bulbo molhado do solo irrigado por gotejamento*. 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 115 f.

SOUZA, E.A., COELHO E.F., PAZ V.P.S., SILVA, T.S.M.da Distribuição da umidade num Latossolo irrigado por gotejamento superficial e subsuperficial e enterrado, com uso de TDR. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 13, 2003, Juazeiro. Anais. Viçosa: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2003a.

SOUZA, M. C. M., SAES, M. S. M., OTANI M. N. Diagnóstico da produção no segmentos de cafés especiais paulista. *Informações econômicas*, 33, 4, p.22-36, Jun. 2003b.

THOMAZIELLO, R.A., FAZUOLI, L.C., PEZZOPANE, J.R.M., FAHL, F.I., CARELLI, M.L.C. *Café arábica: cultura e técnicas de produção*. Boletim técnico, IAC nº187, Campinas. Instituto Agrônomo, 2000. 82 p.

THORNBURN, P.J., COOK, F.J., BRISTOW, K.L. Soil dependent wetting from trickle emitters: Implications for system design and management. *Irrigation Science*, Heidelberg, 22, p. 121 – 127, November, 2003.

TSUNECHIRO, A., COELHO P.J., CASER D.V., AMARAL A.M.P., BUENO C.R.F., GHOBRIIL C.N., MARTINS V.A. Valor da produção agropecuária do estado de São Paulo em 2002. *Informações econômicas*, São Paulo, 33, 8, p.31-42, Ago. 2003.

VEGRO, C.L.R., ASSUMPCÃO, R. Acompanhamento de custo de café em propriedades cafeiras: Síntese parcial dos resultados. *Informações econômicas*, São Paulo, 33, 4, p.48-56, Abr. 2003.

VICENTE, M.R., SOARES A.R., MANTOVANI E.C., FREITAS A.R. Efeito da irrigação e do posicionamento dos gotejadores (superficial e subsuperficial) na produtividade de cafeeiros na região do cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 3, 2003. Anais... Brasília: Embrapa Café, 2003.

ZUR B. Wetted soil volume as a design objective in trickle irrigation. *Irrigation Science*, Heidelberg, 16, p. 101 – 105, February, 1996.

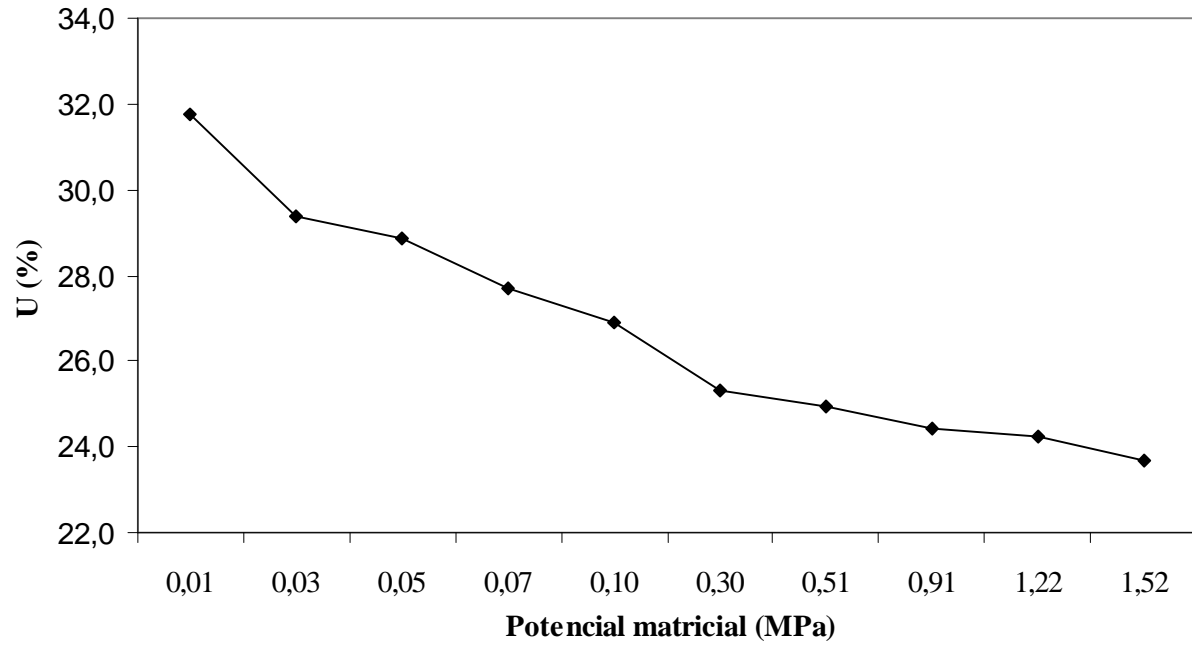
APÊNDICE A

Resistência à penetração no perfil de 0 a 60 cm de solo da área experimental, ponderada em camadas de 5 cm, medida com penetrômetro de impacto em janeiro de 2005

| | RSP (kg / cm ²) | Extrato de solo (cm) | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------------|----------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 20-25 | 25-30 | 30-35 | 35-40 | 40-45 | 45-50 | 50-55 | 55-60 |
| 1 | | 3,8 | 16,9 | 24,3 | 18,5 | 17,1 | 16,4 | 18,5 | 18,5 | 16,6 | 8,8 | 9,7 | 11,0 |
| 2 | | 1,0 | 2,4 | 8,0 | 9,4 | 15,7 | 18,5 | 16,4 | 15,0 | 15,0 | 15,0 | 13,6 | 11,1 |
| 3 | | 1,0 | 11,0 | 8,5 | 6,8 | 10,3 | 20,8 | 23,2 | 24,3 | 20,6 | 16,4 | 16,4 | 17,1 |
| 4 | | 5,7 | 13,8 | 20,8 | 24,3 | 18,7 | 17,1 | 13,8 | 14,1 | 12,6 | 11,8 | 16,9 | 20,9 |
| 5 | | 11,5 | 23,2 | 24,3 | 24,3 | 40,7 | 22,0 | 24,3 | 19,7 | 22,0 | 16,4 | 13,6 | 12,7 |
| 6 | | 6,6 | 23,4 | 24,3 | 24,3 | 24,3 | 23,4 | 17,1 | 18,5 | 15,0 | 20,6 | 14,1 | 12,7 |
| 7 | | 8,0 | 40,6 | 24,3 | 24,3 | 23,2 | 17,1 | 16,4 | 16,4 | 20,6 | 23,4 | 10,1 | 6,8 |
| 8 | | 3,8 | 15,7 | 20,8 | 24,3 | 31,3 | 36,0 | 20,6 | 18,7 | 16,9 | 17,8 | 19,7 | 24,3 |
| 9 | | 8,0 | 18,5 | 18,5 | 24,3 | 24,3 | 24,3 | 24,3 | 16,9 | 17,8 | 18,5 | 18,5 | 18,5 |
| 10 | | 6,6 | 16,4 | 18,5 | 39,5 | 29,0 | 36,0 | 24,3 | 24,3 | 20,8 | 22,0 | 20,8 | 16,9 |
| 11 | | 1,0 | 3,8 | 15,7 | 20,8 | 26,7 | 31,3 | 19,7 | 20,6 | 18,7 | 19,7 | 17,8 | 15,0 |
| 12 | | 5,0 | 11,0 | 24,3 | 19,7 | 29,0 | 36,0 | 31,3 | 16,9 | 13,1 | 11,7 | 11,3 | 12,7 |
| 13 | | 1,8 | 24,3 | 24,3 | 23,2 | 20,8 | 29,0 | 33,7 | 29,0 | 22,0 | 15,0 | 13,6 | 13,4 |
| 14 | | 3,8 | 14,5 | 12,7 | 17,8 | 16,8 | 20,8 | 25,5 | 29,0 | 22,0 | 20,6 | 23,4 | 20,6 |
| 15 | | 4,5 | 17,1 | 18,7 | 23,1 | 25,5 | 32,5 | 20,8 | 19,7 | 15,0 | 12,7 | 17,3 | 15,0 |
| 16 | | 12,2 | 17,8 | 8,0 | 8,0 | 12,7 | 26,7 | 33,7 | 20,6 | 16,4 | 15,0 | 15,0 | 14,0 |
| 17 | | 6,6 | 25,4 | 11,0 | 11,0 | 21,0 | 36,0 | 31,3 | 23,2 | 17,1 | 16,4 | 16,4 | 20,6 |
| 18 | | 1,0 | 1,0 | 8,0 | 8,0 | 15,0 | 19,7 | 24,3 | 22,0 | 22,0 | 12,7 | 10,3 | 10,3 |
| 19 | | 1,0 | 1,0 | 19,7 | 24,3 | 43,0 | 36,0 | 25,5 | 15,5 | 11,0 | 6,4 | 6,4 | 8,2 |
| 20 | | 1,0 | 3,8 | 8,0 | 12,2 | 22,0 | 29,0 | 18,5 | 18,5 | 22,0 | 15,0 | 17,8 | 15,0 |

APÊNDICE B

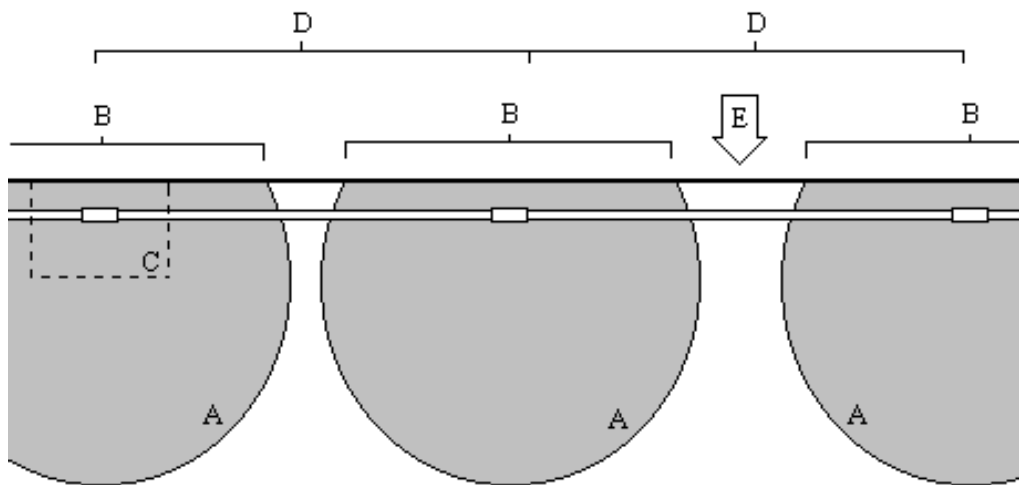
Curva de retenção da água do solo nas camadas de 0 a 60 cm, da área experimental, obtida no extrator de Richards com amostras indeformadas.



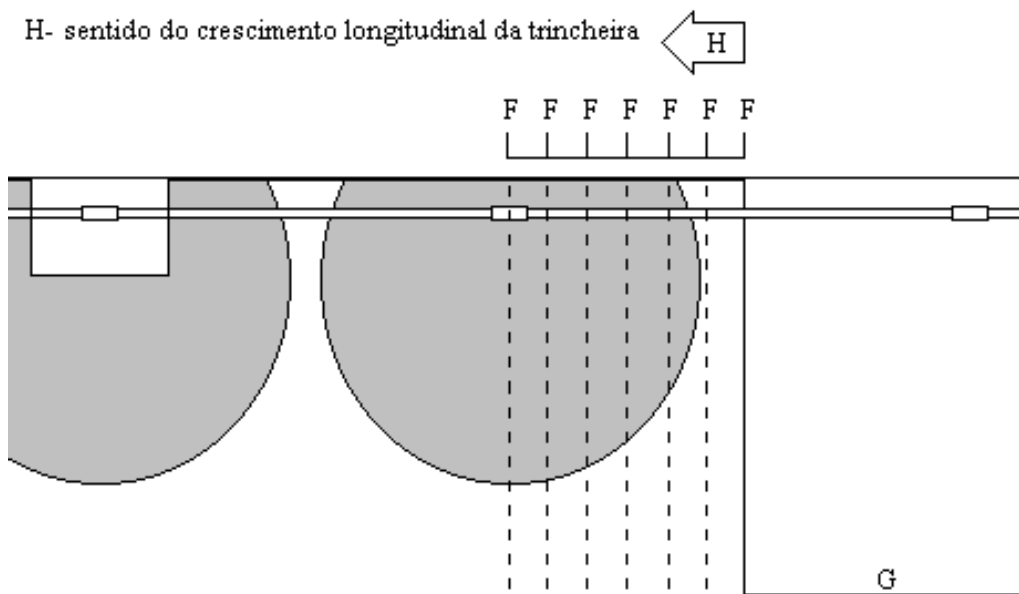
APÊNDICE C

Metodologia da abertura da trincheira

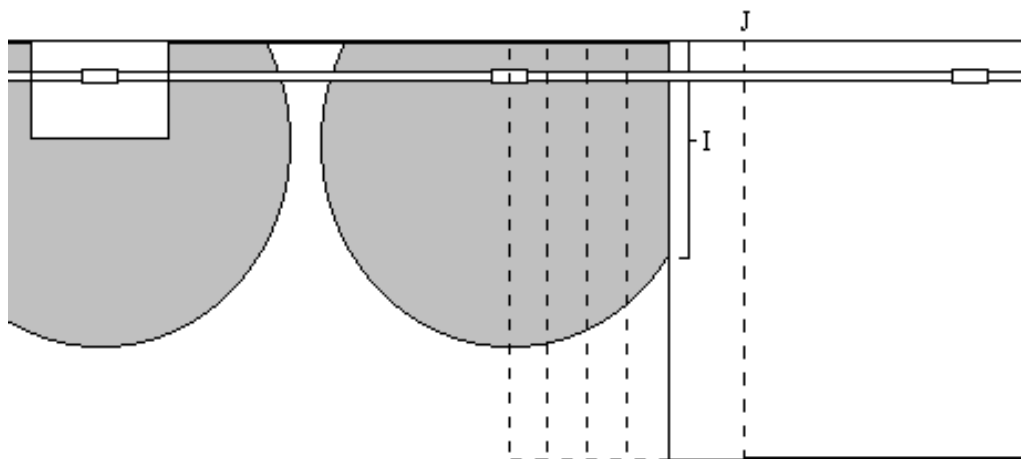
- A- bulbo úmido
- B- zona molhada superficial
- C- solo removido para localização do emissor vizinho
- D- espaçamento entre emissores
- E- ponto médio entre emissores



- F- espaçamento determinado para fatiamento da trincheira
- G- trincheira aberta
- Pontilhado- fatias a serem abertas na trincheira
- H- sentido do crescimento longitudinal da trincheira

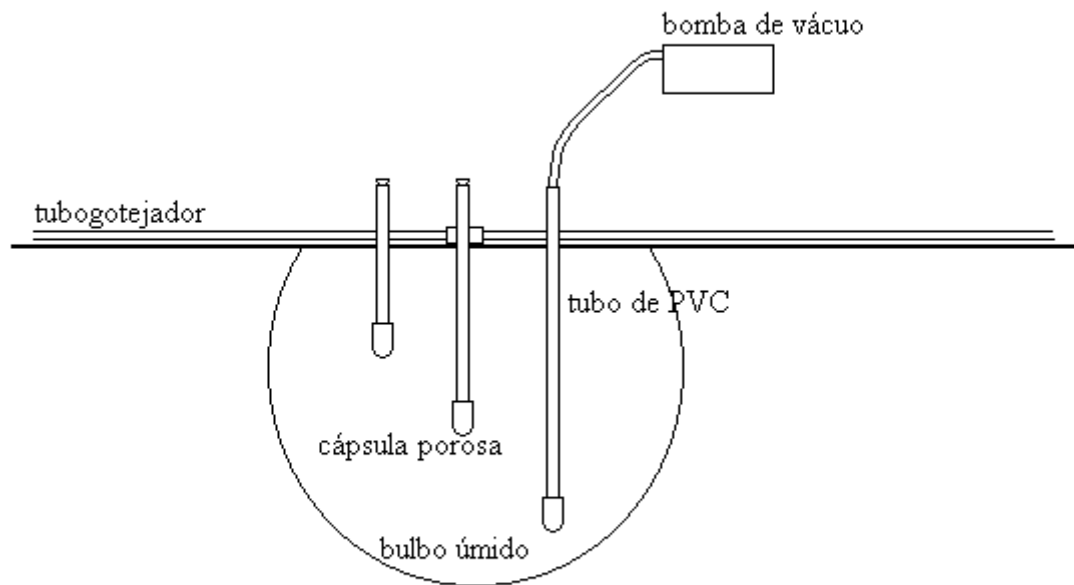


- I- área molhada a ser delimitada e medida
- J- primeira parede avaliada da trincheira



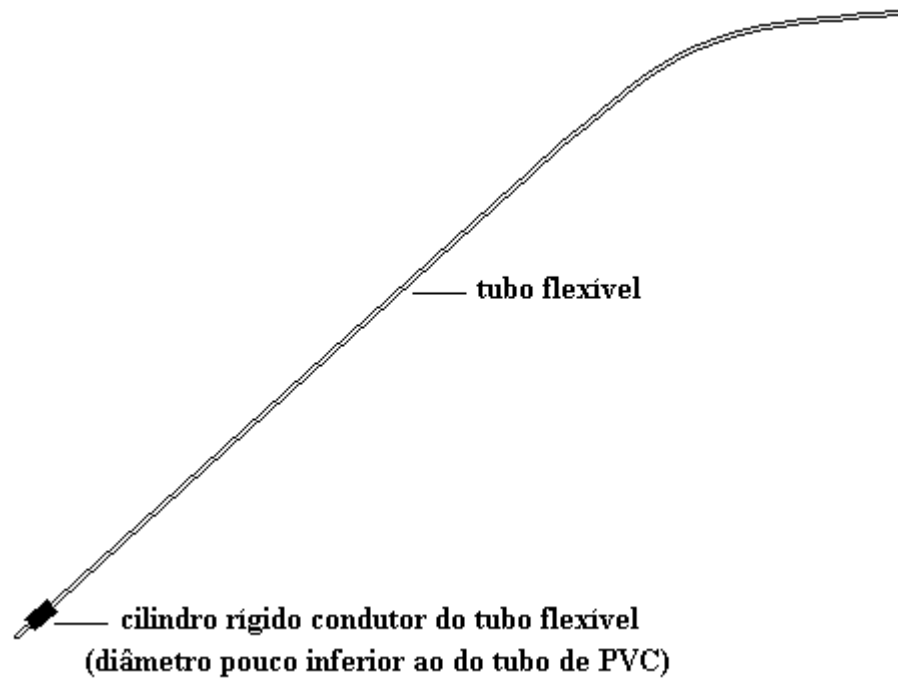
APÊNDICE D

Posições das cápsulas porosas e aplicação de vácuo em campo



APÊNDICE E

Extrator da solução acondicionada no interior da cápsula porosa.

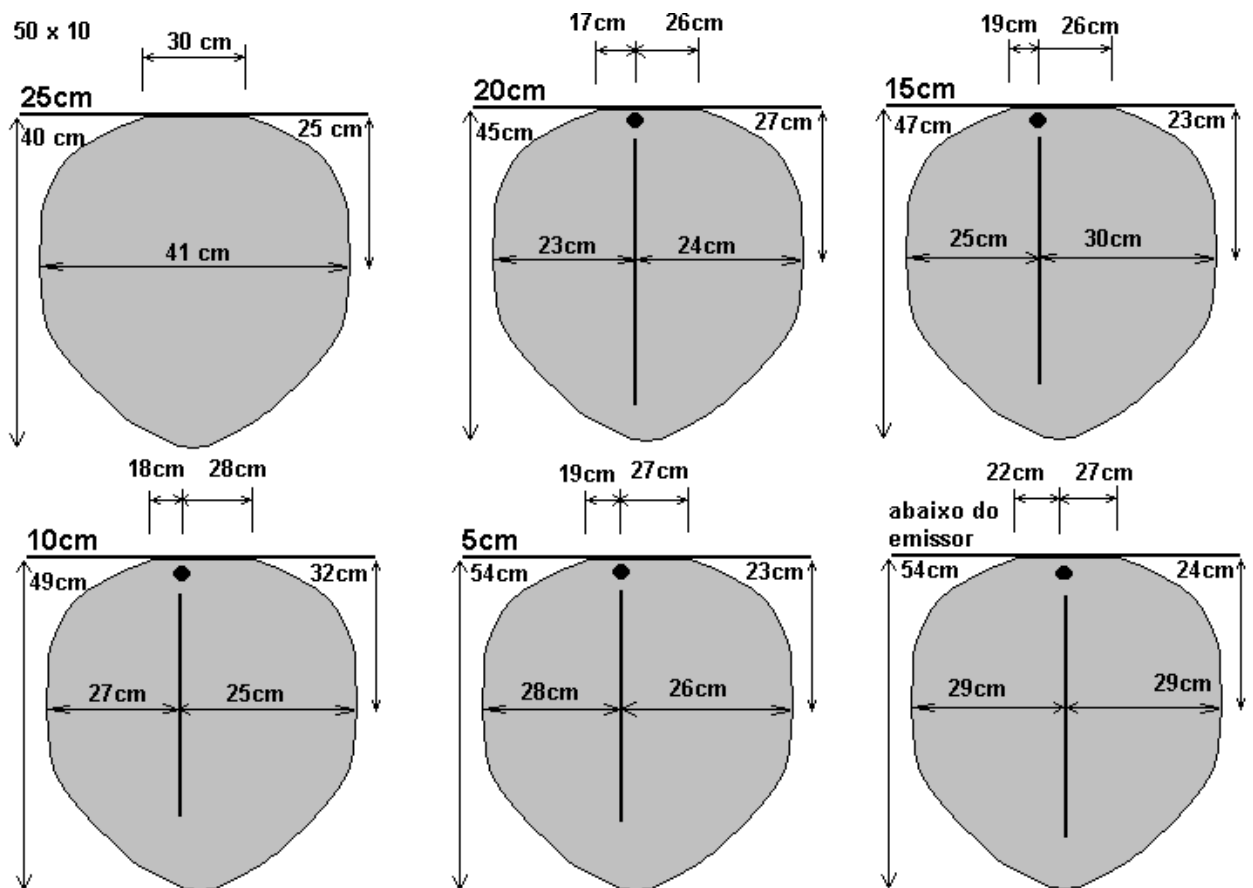


Foi colocado dentro do tubo na extremidade inferior uma pequena barra de 2 arames finos trançados. Este artifício teve o objetivo de proporcionar rigidez ao tubo flexível, facilitando a entrada na cápsula porosa.

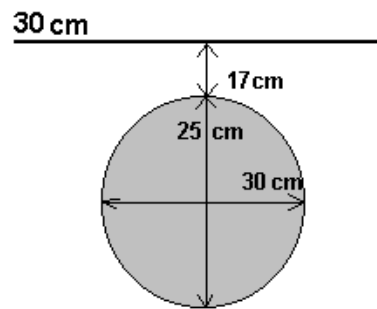
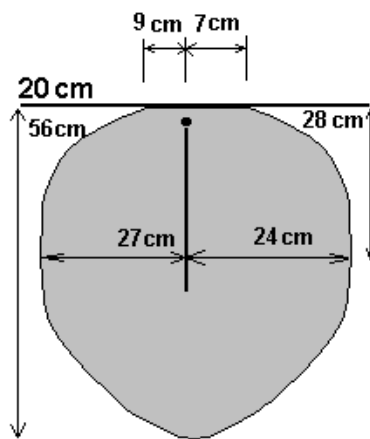
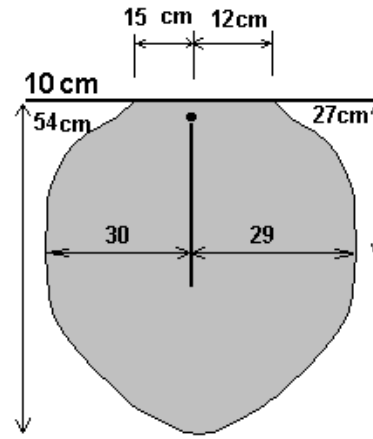
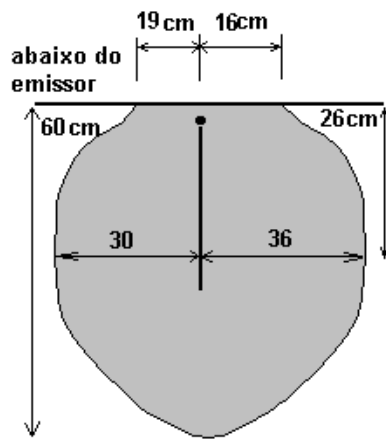
APÊNDICE F

Dimensões do bulbo úmido por tratamento avaliado

T2

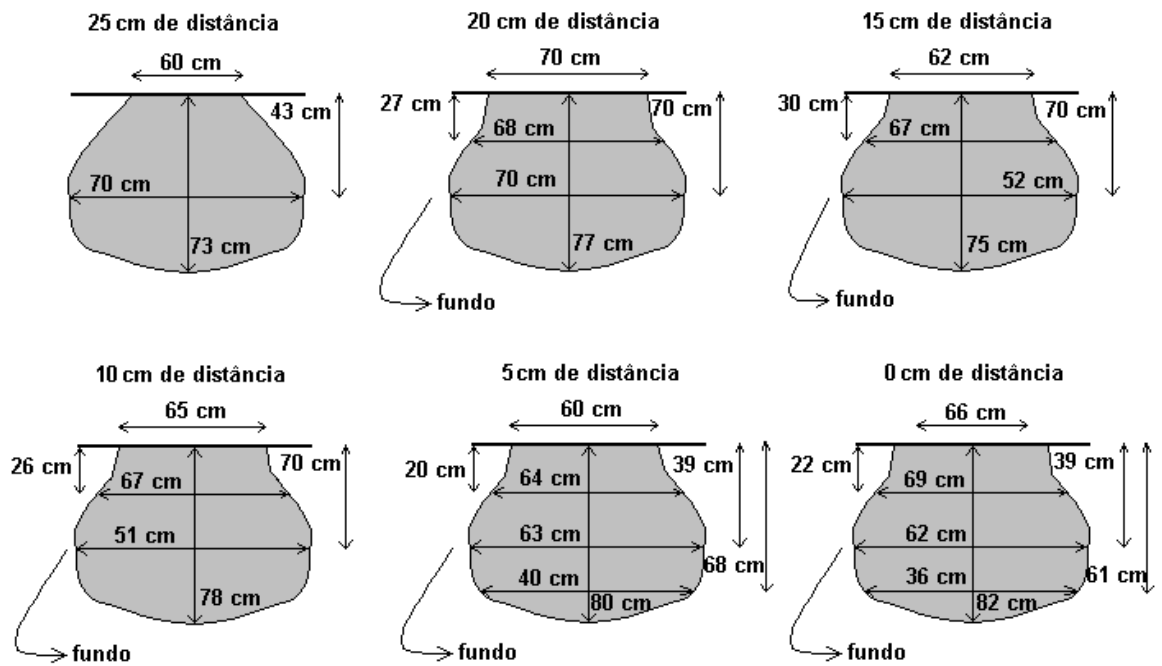


T5

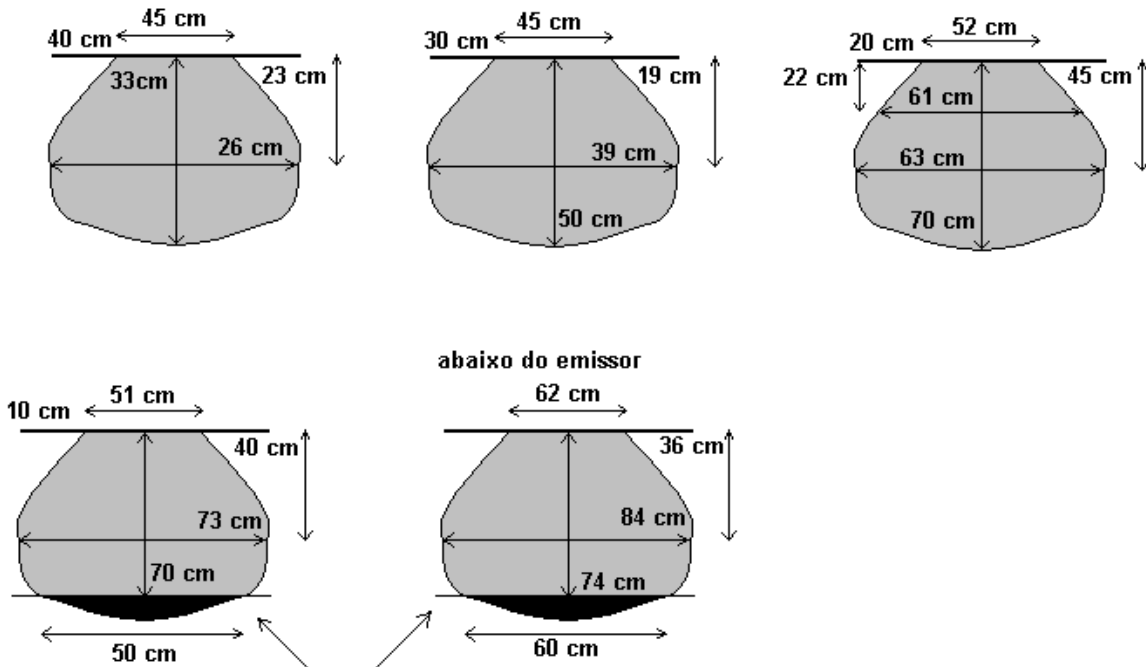


OBS: A 40 cm de distância do emissor não foi observado solo molhado

T1

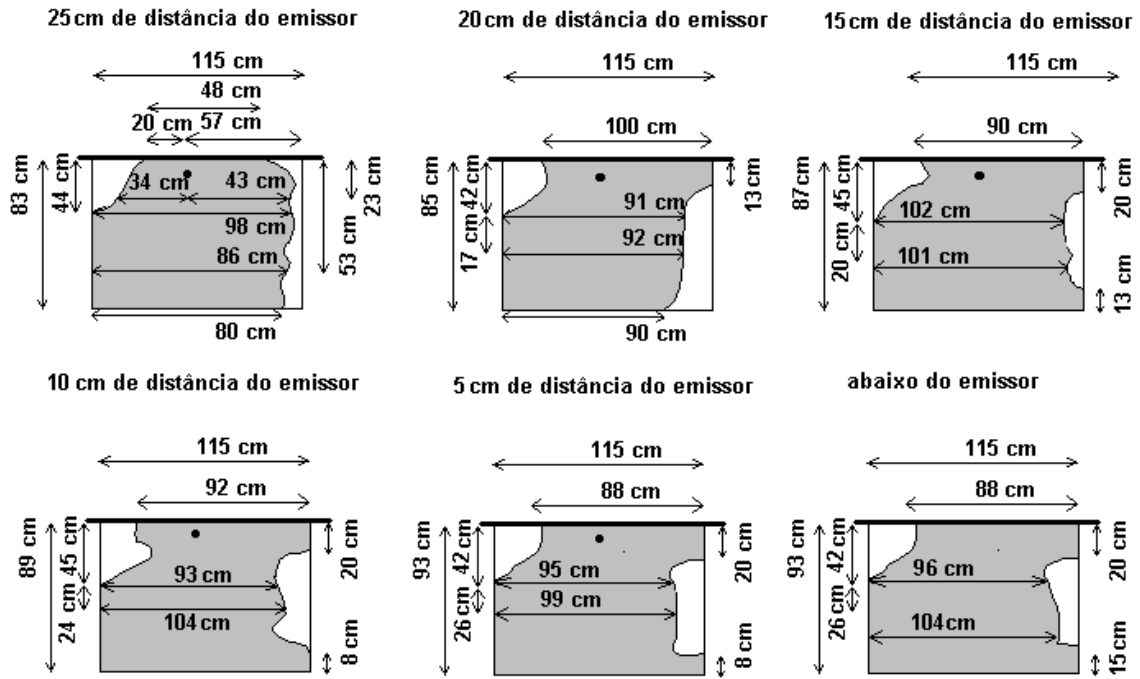


T4

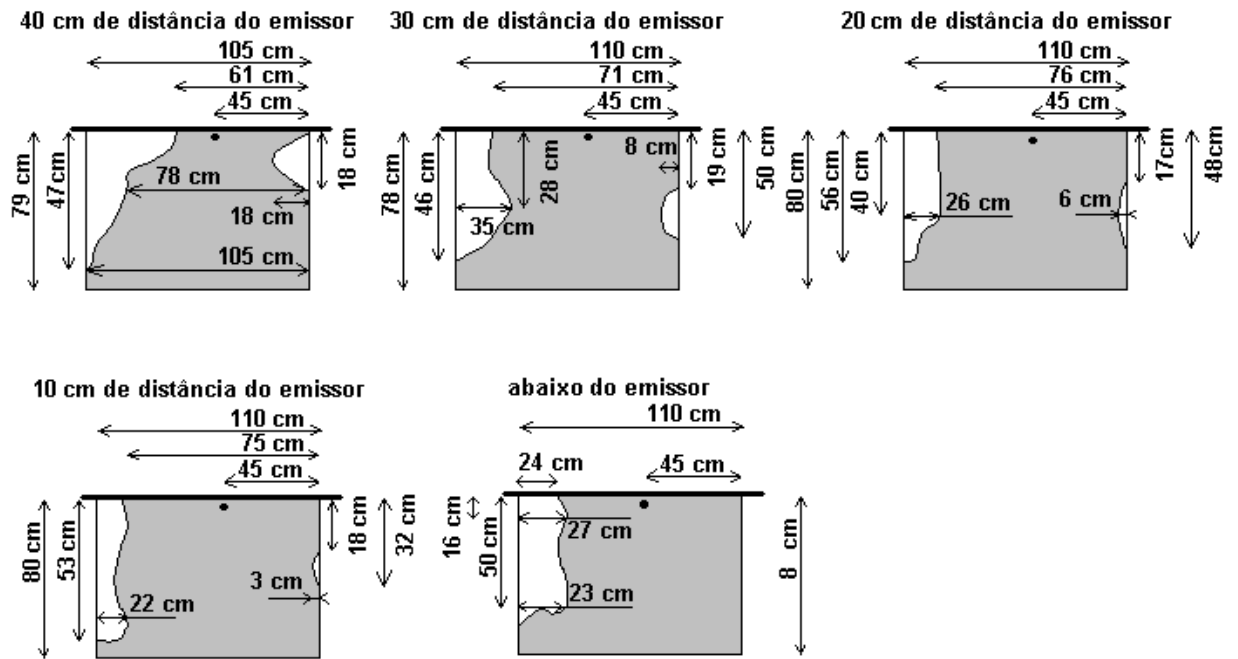


Profundidade de estudo limitada por tendência de maior aprofundamento do bulbo

T3



T6



APÊNDICE G

Valores de potencial da água (BAR)

Dia 20 de janeiro

| Prof. | 04:00 | 09:00 | 12:00 | 15:00 | 18:00 |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| -----MPa----- | | | | | |
| 50 - 0 | -2,00 | -5,0 | -24,0 | -6,3 | -3,8 |
| 80 - 0 | -2,8 | -4,0 | -29,0 | -19,3 | -3,3 |
| 50 - 10 | -2,0 | -3,2 | -15,7 | -20,5 | -2,7 |
| 80 - 10 | -1,7 | -4,0 | -20,0 | -18,3 | -6,2 |
| 50 - 20 | -2,0 | -3,0 | -21,7 | -18,5 | -3,3 |
| 80 - 20 | -4,8 | -3,5 | -24,3 | -19,0 | -4,5 |

Dia 05 de fevereiro

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 15:30 |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | -----MPa----- | | | | | |
| 50 - 0 | -2,3 | -2,1 | -15,5 | -22,6 | -21,3 | -6,6 |
| 80 - 0 | -1,1 | -1,6 | -15,0 | -20,5 | -9,7 | -5,3 |
| 50 - 10 | -1,7 | -1,9 | -14,6 | -19,6 | -20,0 | -6,2 |
| 80 - 10 | -1,7 | -2,5 | -17,9 | -17,3 | -17,5 | -3,3 |
| 50 - 20 | -1,1 | -1,6 | -13,9 | -14,0 | -11,3 | -9,3 |
| 80 - 20 | -1,1 | -3,0 | -13,4 | -22,0 | -10,1 | -7,6 |

Dia 17 de fevereiro

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 18:00 |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | -----MPa----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -1,6 | -1,4 | -16,4 | -18,1 | -20,9 | -21,8 | -12,3 | -6,4 |
| 80 - 0 | -1,2 | -1,9 | -13,0 | -21,4 | -21,0 | -19,0 | -10,0 | -6,7 |
| 50 - 10 | -1,1 | -1,9 | -13,5 | -16,7 | -16,8 | -16 | -8,7 | -6,5 |
| 80 - 10 | -1,2 | -1,5 | -17,5 | -18,7 | -16,0 | -18,8 | -7,8 | -6,4 |
| 50 - 20 | -1,0 | -1,5 | -15,5 | -19,1 | -19,8 | -19,7 | -8,0 | -4,5 |
| 80 - 20 | -1,1 | -1,9 | -17,0 | -18,4 | -17,5 | -18,3 | -14,6 | -6,9 |

Dia 9 de março

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 18:00 |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | -----MPa----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -2,1 | -12,4 | -18,9 | -23,8 | -20,5 | -20,8 | -13,0 | -8,6 |
| 80 - 0 | -3,0 | -11,5 | -21,0 | -22,3 | -23,3 | -19,1 | -18,2 | -6,0 |
| 50 - 10 | -1,5 | -9,6 | -21,0 | -19,6 | -20,0 | -16,6 | -11,6 | -9,0 |
| 80 - 10 | -2,1 | -7,4 | -18,4 | -19,8 | -21,9 | -18,4 | -15,3 | -7,2 |
| 50 - 20 | -1,9 | -12,9 | -18,4 | -19,6 | -19,8 | -17,3 | -17,3 | -7,2 |
| 80 - 20 | -2,7 | -10,4 | -18,8 | -21,6 | -21,2 | -16,0 | -14,9 | -4,8 |

Dia 30 de março

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 16:30 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 50 - 0 | -1,0 | -2,6 | -19,5 | -27,8 | -9,3 |
| 80 - 0 | -3,0 | -3,2 | -25,3 | -19,0 | -11,7 |
| 50 - 10 | -1,4 | -2,0 | -25,2 | -23,8 | -12,0 |
| 80 - 10 | -1,6 | -3,0 | -11,7 | -26,6 | -14,3 |
| 50 - 20 | -1,4 | -5,0 | -25,6 | -20,6 | -13,7 |
| 80 - 20 | -1,3 | -2,8 | -21,5 | -22,8 | -15,7 |

Dia 4 de maio

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | -----MPa----- | | | | | | |
| 50 - 0 | -1,5 | -12,0 | -25,3 | -24,3 | -19,3 | -19,0 | -7,0 |
| 80 - 0 | -3,0 | -9,3 | -18,3 | -20,7 | -16,3 | -17,0 | -6,5 |
| 50 - 10 | -4,0 | -4,2 | -23,5 | -24,3 | -16,7 | -15,7 | -7,0 |
| 80 - 10 | -3,0 | -3,3 | -23,5 | -24,3 | -17,0 | -19,7 | -8,0 |
| 50 - 20 | -4,7 | -17,8 | -15,7 | -23,0 | -20,0 | -22,0 | -5,3 |
| 80 - 20 | -2,0 | -12,5 | -22,0 | -18,0 | -20,3 | -16,0 | -9,8 |

Dia 25 de junho

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 17:00 |
|---------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | -----MPa----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -7,3 | -5,7 | -18,7 | -19,7 | -23,7 | -14,5 | -9,5 | -7,7 |
| 80 - 0 | -8,3 | -5,0 | -22,0 | -20,3 | -19,5 | -18,3 | -7,7 | -8,0 |
| 50 - 10 | -2,7 | -4,3 | -18,0 | -21,0 | -22,5 | -16,5 | -7,7 | -8,3 |
| 80 - 10 | -4,0 | -8,0 | -18,0 | -18,7 | -20,7 | -20,7 | -6,7 | -10,3 |
| 50 - 20 | -4,0 | -7,5 | -18,3 | -15,0 | -19,0 | -16,3 | -4,7 | -7,3 |
| 80 - 20 | -7,8 | -6,5 | -20,7 | -15,3 | -23,7 | -17,7 | -8,0 | -6,7 |

Dia 06 de agosto

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 17:00 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | ----- MPa ----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -5,7 | -5,7 | -14,0 | -19,7 | -26,5 | -22,3 | -14,7 | -13,5 |
| 80 - 0 | -2,7 | -3,3 | -14,0 | -22,3 | -17,7 | -15,5 | -8,5 | -10,0 |
| 50 - 10 | -3,7 | -5,7 | -13,5 | -23,0 | -17,3 | -19,0 | -11,7 | -11,7 |
| 80 - 10 | -4,0 | -6,0 | -13,3 | -20,3 | -13,3 | -21,5 | -15,3 | -13,7 |
| 50 - 20 | -4,7 | -9,7 | -9,0 | -17,7 | -15,3 | -21,0 | -12,0 | -9,7 |
| 80 - 20 | -3,7 | -6,0 | -20,5 | -19,7 | -22,5 | -22,5 | -16,0 | -8,7 |

Dia 13 de agosto

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 17:00 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | ----- MPa ----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -5,3 | -5,7 | -19,7 | -21,7 | -23,7 | -21,7 | -18,0 | -15,7 |
| 80 - 0 | -5,3 | -8,7 | -17,0 | -18,3 | -15,7 | -28,3 | -19,0 | -17,5 |
| 50 - 10 | -5,0 | -11,3 | -13,0 | -17,5 | -21,0 | -19,5 | -15,5 | -9,7 |
| 80 - 10 | -7,7 | -10,7 | -15,0 | -21,0 | -17,7 | -17,7 | -15,0 | -15,0 |
| 50 - 20 | -6,3 | -10,3 | -18,7 | -17,0 | -18,5 | -27,0 | -12,5 | -13,0 |
| 80 - 20 | -5,3 | -5,7 | -17,5 | -15,5 | -21,0 | -26,3 | -17,5 | -6,5 |

Dia 20 de agosto

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 17:00 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | ----- MPa ----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -6,3 | -11,3 | -19,0 | -24,7 | -19,7 | -17,3 | -17,5 | -13,0 |
| 80 - 0 | -6,0 | -8,3 | -10,5 | -20,0 | -18,0 | -18,3 | -13,3 | -11,0 |
| 50 - 10 | -5,0 | -6,0 | -21,0 | -23,0 | -24,3 | -15,5 | -11,7 | -15,0 |
| 80 - 10 | -5,0 | -11,0 | -15,7 | -21,7 | -18,0 | -18,0 | -12,0 | -12,7 |
| 50 - 20 | -5,0 | -11,0 | -15,5 | -18,7 | -14,0 | -13,3 | -13,7 | -14,0 |
| 80 - 20 | -6,7 | -11,3 | -18,0 | -12,0 | -21,3 | -18,3 | -15,3 | -12,3 |

Dia 14 de setembro

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 17:00 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | ----- MPa ----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -11,7 | -17,3 | -35,7 | -22,7 | -26,7 | -24,0 | -23,0 | -18,3 |
| 80 - 0 | -10,7 | -21,7 | -29,0 | -30,7 | -29,7 | -26,7 | -35,5 | -20,0 |
| 50 - 10 | -10,7 | -20,0 | -21,7 | -22,3 | -30,0 | -18,7 | -25,7 | -17,0 |
| 80 - 10 | -13,0 | -15,3 | -23,0 | -29,3 | -25,7 | -29,7 | -23,7 | -22,7 |
| 50 - 20 | -14,0 | -19,7 | -26,0 | -30,0 | -25,7 | -31,0 | -27,7 | -20,0 |
| 80 - 20 | -14,7 | -20,3 | -28,3 | -19,3 | -27,7 | -17,7 | -21,7 | -18,7 |

Dia 23 de setembro

| Prof. | 05:00 | 07:00 | 10:00 | 12:00 | 13:00 | 14:00 | 16:00 | 18:00 |
|---------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| (cm) | ----- MPa ----- | | | | | | | |
| 50 - 0 | -6,7 | -13,3 | -16,0 | -22,7 | -22,7 | -18,3 | -14,7 | -14,3 |
| 80 - 0 | -6,0 | -12,7 | -17,0 | -22,0 | -20,7 | -19,3 | -19,7 | -12,7 |
| 50 - 10 | -3,3 | -14,7 | -13,0 | -21,7 | -16,7 | -15,3 | -16,0 | -17,3 |
| 80 - 10 | -5,3 | -14,3 | -18,7 | -20,0 | -20,3 | -20,3 | -12,0 | -19,7 |
| 50 - 20 | -4,7 | -19,0 | -19,0 | -22,7 | -16,3 | -17,3 | -14,7 | -15,0 |
| 80 - 20 | -6,0 | -15,0 | -21,7 | -21,5 | -17,0 | -19,5 | -13,7 | -17,7 |