

**COEFICIENTE DE CULTURA ( $K_c$ ) DO CAFEIEIRO  
(*Coffea arabica* L.) NA REGIÃO DE LAVRAS - MG**

**Fabio Akira Sato**

**2005**

FABIO AKIRA SATO

COEFICIENTE DE CULTURA ( $K_c$ ) DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.) NA REGIÃO DE LAVRAS - MG

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de “Mestre”.

**Orientador:**

Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva

---

LAVRAS  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2005

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

Sato, Fabio Akira

Coefficiente de cultura ( $K_c$ ) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Lavras  
– MG. / Fabio Akira Sato. – Lavras : UFLA, 2005.

85 p. : il.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Irrigação. 3. Balanço hídrico. I. Universidade Federal de Lavras. II.  
Título.

CDD-633.73

**FABIO AKIRA SATO**

**COEFICIENTE DE CULTURA (K<sub>c</sub>) DO CAFEIEIRO (*Coffea arabica* L.)  
NA REGIÃO DE LAVRAS - MG**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 09 de junho de 2005

**Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho**

**UFLA**

**Dra. Sttella Dellyzete Veiga Franco da Rosa**

**Embrapa Café**

  
**Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva**  
**UFLA**  
**(Orientador)**

**LAVRAS**  
**MINAS GERAIS – BRASIL**

A Deus;

Aos meus pais Fujio Sato e Kayoko Sato;

Aos meus irmãos Eduardo e Gustavo;

Dedico.

“Uma noite, sonhei que caminhava ao longo  
de uma praia acompanhado por DEUS.  
Durante a caminhada, muitas cenas da minha vida se  
foram projetando numa tela do céu. Conforme ia  
passando cada uma dessas cenas, notava que se  
formavam pegadas na areia. Às vezes apareciam dois  
pares de pegadas, em outras somente aparecia um par.  
Preocupou-me, porque notei que durante as cenas que  
refletiam etapas tristes da minha vida, só podia ver um  
par de pegadas na areia.  
Então, disse a DEUS: “Senhor,  
Tu me prometeste que, se Te seguisse,  
Tu caminharias sempre a meu lado.  
Não obstante, notei que durante os momentos mais  
Difíceis da minha vida, somente havia um par de pegadas na areia.  
Por que, quando mais necessitava de Ti,  
Não caminhavas a meu lado?  
O Senhor me respondeu:  
“Às vezes em que viste  
só um par de pegadas na areia,  
filho Meu, foi quando te  
levava em Meus braços”.

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, por me conceder o Dom da Vida, agraciando - me com o seu infinito amor, bondade e misericórdia, pois o modo como cuida de mim é maravilhoso e inexplicável.

Aos meus pais, Fujio Sato e Kayoko Sato, pelos exemplos de vida, dedicação, esforço, sabedoria e sacrifícios pela educação e boa formação de seus filhos.

Aos meus irmãos, Eduardo e Gustavo, que mesmo distante foram meus companheiros.

A minha namorada Josye Oliveira e Vieira pelo amor, carinho, companheirismo e compreensão, sentimentos essenciais e indispensáveis para o meu crescimento.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Antônio Marciano da Silva, professor orientador, pela orientação, ensinamentos, paciência, amizade e principalmente confiança, fatores essenciais para realização deste trabalho.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Luiz Gonsaga de Carvalho pela ajuda e sugestões no trabalho.

À Pesquisadora Dra. Stella Dellyzete Veiga Franco da Rosa, que se dispôs com muita boa vontade a participar da banca.

A todo corpo docente do curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários do Laboratório de Hidráulica, Berg (Lindeberg), Neném (Oswaldo) e José Luiz, pelo auxílio com material e pela ajuda no experimento.

Aos amigos Guilherme e Márcio, que desde a graduação se tornaram verdadeiros irmãos, presentes em todos os momentos.

A todos os colegas e amigos da Universidade e da República Só-Kanela, em especial a Luiz Felipe, Cristian Leonel, Rodrigo Felício e Neuza, além de todos que de alguma forma estiveram presentes no meu dia-a-dia.

Aos colegas de Pós-graduação pela amizade e companheirismo.

A toda equipe de trabalho, especialmente ao Carlinhos, José Alves, Renato, Adriano, Polyanna, e principalmente ao Gilberto Coelho, pela amizade e companheirismo, sem os quais a realização deste trabalho não seria possível.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a confecção deste trabalho. Muito Obrigado!

# SUMÁRIO

Página

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	03
2.1 Necessidades térmicas e hídricas do cafeeiro.....	03
2.2 Manejo da irrigação.....	06
2.3 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).....	07
2.4 Evapotranspiração real ( $ET_r$ ).....	09
2.5 Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ).....	09
2.6 Coeficiente de cultura ( $K_c$ ).....	10
2.7 Caracterização físico-hídrica do solo .....	13
2.7.1 Classe textural .....	13
2.7.2 Densidade do solo ( $\rho_s$ ).....	14
2.7.3 Densidade de partículas ( $\rho_p$ ).....	15
2.7.4 Porosidade .....	15
2.7.5 Retenção de água no solo .....	16
2.7.6 Infiltração da água no solo .....	18
2.7.7 Capacidade de campo.....	20
2.7.8 Disponibilidade de água no solo .....	20
2.7.9 Condutividade hidráulica .....	21
2.7.10 Condutividade hidráulica do solo não saturado ( $K_{r\theta}$ ) .....	22
2.9 Balanço hídrico do solo.....	24
2.9.1 Precipitação pluvial e irrigação.....	26
2.9.2 Deflúvio superficial ou “run – off” (R).....	26
2.9.3 Drenagem interna e ascensão capilar .....	27
2.9.4 Variação de armazenamento .....	27
2.10 Considerações finais da revisão de literatura .....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	29
3.1 Caracterização da área experimental.....	29
3.2 Sistema e manejo de irrigação.....	32
3.3 Caracterização físico-hídrica do solo .....	33
3.3.1 Classe textural .....	33
3.3.2 Densidade do solo ( $\rho_s$ ).....	33

3.3.3 Densidade de partículas ( $\rho_p$ ).....	34
3.3.4 Porosidade .....	34
3.3.5 Retenção de água no solo .....	35
3.3.6 Infiltração de água no solo .....	38
3.3.7 Condutividade hidráulica do solo não saturado ( $K(\theta)$ ) .....	39
3.4 Balanço hídrico do solo.....	40
3.4.1 Precipitação pluvial e irrigação .....	42
3.4.2 Deflúvio superficial ou “run – off” (R).....	42
3.4.3 Drenagem interna e ascensão capilar .....	43
3.4.4 Variação de armazenamento .....	43
3.5 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).....	44
3.6 Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ).....	45
3.7 Determinação do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) .....	45
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>47</b>
4.1 Caracterização físico-hídrica do solo .....	47
4.1.1 Classe textural .....	47
4.1.2 Densidade do solo ( $\rho_s$ ).....	48
4.1.3 Densidade de partículas ( $\rho_p$ ).....	49
4.1.4 Porosidade .....	50
4.1.5 Retenção de água no solo .....	52
4.1.6 Infiltração de água no solo .....	56
4.1.7 Condutividade hidráulica .....	56
4.1.8 Condutividade hidráulica do solo não saturado ( $K(\theta)$ ) obtido pelo modelo de Mualem – van Genuchten.....	57
4.2 Balanço hídrico do solo.....	59
4.2.1 Precipitação pluvial e irrigação .....	59
4.2.2 Deflúvio superficial ou “run – off” (R).....	60
4.2.3 Armazenamento de água no solo .....	60
4.3 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ).....	66
4.4 Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ).....	68
4.5 Coeficiente de cultura ( $K_c$ ).....	69
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>73</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>74</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>82</b>

## RESUMO

SATO, Fabio Akira. Coeficiente de cultura ( $K_c$ ) do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na região de Lavras – MG. 2005. 85 p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras – MG.\*

Em experimentos conduzidos na Fazenda Müquém – FAEPE/UFLA, Lavras – MG, sobre épocas de irrigação em lavouras de café (*Coffea arabica* L.), cultivar Catuaí – Vermelho (IAC 44), uma, com dezenove anos de idade, e a outra, recepada em 2000, monitorou-se os regimes hídricos e climático, visando estimar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura das mesmas, com base no método do balanço hídrico. Utilizaram-se gotejadores auto-compensantes, com vazão nominal de  $1,6 \text{ L h}^{-1}$  espaçados, entre si, de 0,30 e 0,45 m, respectivamente na lavoura antiga e na lavoura recepada. Foram instalados tensiômetros nas duas lavouras e blocos de resistência elétrica na lavoura recepada, nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m, fazendo-se as leituras três vezes por semana. Os dados climatológicos necessários à estimativa da evapotranspiração de referência e aos cálculos da irrigação foram coletados junto à mini estação meteorológica, instalada na área experimental. Os resultados obtidos permitiram concluir que: o cafeeiro com dezenove anos de cultivo apresentou uma  $ET_c$  entre  $1,00$  a  $4,46 \text{ mm dia}^{-1}$  e um  $K_c$  variando entre 0,50 a 1,18, enquanto o cafeeiro recepado apresentou uma  $ET_c$  entre 0,98 a  $4,82 \text{ mm dia}^{-1}$  e um  $K_c$  variando de 0,42 a 1,27. Embora o comportamento dos valores de  $K_c$  evidenciou boa sintonia com a fenologia da cultura do cafeeiro, sinalizaram, entretanto, para uma redução do período de dormência e antecipação do período de expansão com atividade vegetativa plena, fato que indica a necessidade de estudos mais detalhados para o cafeeiro cultivado em regime de irrigação, pois, a maioria das informações disponíveis está relacionada às condições de cafeeiro em regime de sequeiro.

---

\*Comitê Orientador: Antônio Marciano da Silva – UFLA (Orientador), Luiz Gonzaga de Carvalho – UFLA (Co-orientador).

## ABSTRACT

SATO, Fabio Akira. **Coffee (*Coffea arabica* L.) crop coefficient ( $K_c$ ) at Lavras-MG region. 2005. 85 p. (Dissertation – Master in Agricultural Engenerring) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.\***

In the experiment carried out in a commercial coffee (*Coffea arabica* L.), cv. Catuaí – Vermelho (IAC 44) plantation located at Fazenda Müquém – FAEPE/UFLA, in Lavras – MG, water and climatic regime were monitored in order to estimate crop evapotranspiration and crop coefficient values. Two different coffee plantations were monitored. A nineteen years old coffee plantation and a coffee plantation that was pruned in the 2000 year. Pressure regulated drip emitters with a  $1.6 \text{ L h}^{-1}$  discharge and spaced by 0.30m and by 0.45m respective in plantation with nineteen years old and pruned in the 2000 year. Tensiometers were installed on both plantations and “WaterMark” soil moisture sensors were installed in the pruned plantation at depths of 0.10, 0.30 and 0.50 m. Soil water tension was monitored three times a week. Climatological data required to reference evapotranspiration computation was obtained with an automatic meteorological station installed at the local. Results from the experiment indicate that the nineteen years old coffee plantation presents an evapotranspiration rate ( $ET_c$ ) varying from 1.00 to  $4.46 \text{ mm day}^{-1}$  and a crop coefficient ( $K_c$ ) varying from 0.50 to 1.18. For the punned coffee plantation results indicate an  $ET_c$  varying from 0.98 to  $4.82 \text{ mm day}^{-1}$  and a  $K_c$  from 0.42 to 1.27. Estimated  $K_c$  values were in good sintony with the coffee plant phonological cycle signaling however for a reduction of the numbness period and anticipation of the expansion period with full vegetative activity. Besides this fact, a more detailed study about coffee crop coefficient under irrigation regime is required because most of the dada was collected under a non irrigation regime.

---

\*Guidance Committee: Antônio Marciano da Silva (Major Professor); Luiz Gonzaga de Carvalho.

# 1 INTRODUÇÃO

O café é uma cultura característica das regiões intertropicais, pois necessita de um clima quente e úmido. Introduzida no Brasil desde o século XVIII, a cafeicultura expandiu-se de maneira muito rápida, passando a ser um dos principais produtos agrícolas do país. O maior produtor brasileiro de café é o estado de Minas Gerais, cuja maior produção está concentrada no sul do estado. No entanto, o cerrado mineiro, nos últimos anos, também vem se destacando devido à cafeicultura irrigada.

Reconhecidamente, o cafeeiro é afetado pela seca com a conseqüente redução da produção. A introdução de novas tecnologias factíveis de serem adotadas pelos produtores e de uma política financeira que incentive o plantio do café, sem dúvida, propiciarão um aumento da área cultivada, além de atenuarem os problemas de deficiência hídrica, prejudiciais ao cafeeiro principalmente na fase de frutificação, em que a irrigação torna-se mais necessária.

A deficiência hídrica pode comprometer os processos bioquímicos e fisiológicos da planta, retardando, dessa forma, o desenvolvimento e o crescimento da cultura, resultando em uma redução da produtividade agrícola. O excesso hídrico, por outro lado, favorece o aparecimento de doenças e pragas, além de provocar o escoamento superficial e a percolação, causadores da erosão e da lixiviação de nutrientes do solo.

Assim, evidencia-se a importância da identificação de métodos de determinação das necessidades hídricas que melhor se ajustem às condições locais, levando em consideração o solo, o clima, o desenvolvimento da cultura e o sistema de irrigação utilizado. Modelos agrometeorológicos que relacionam o rendimento das culturas com variáveis hídricas podem auxiliar na previsão de safra e na identificação de material genético mais tolerante ao déficit hídrico.

O conhecimento de como as plantas utilizam a água no solo e de como respondem aos níveis de disponibilidade a partir do balanço hídrico, pode ser uma saída viável para o estabelecimento de estratégias eficazes de manejo visando o melhor uso possível das reservas de água no solo pelas culturas.

A importância do balanço hídrico como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos de déficit hídrico para a cultura, está relacionada não só ao conhecimento dos fatores que o compõem, como também, ao conhecimento das características da planta, principalmente da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço.

Sendo assim, torna-se necessário o estudo de parâmetros de apoio para cálculo da necessidade hídrica da planta, como o coeficiente de cultura ( $K_C$ ), que se apresenta como um indicador de significado físico e biológico importante na tomada de decisão agrícola.

Assim, com este trabalho objetivou-se monitorar o regime hídrico e climático, estimar a evapotranspiração e o coeficiente de cultura do cafeeiro Catuaí, com 19 anos de idade e recepado (em 2000), utilizando-se o método do balanço hídrico.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Necessidades térmicas e hídricas do cafeeiro

A espécie *Coffea arabica* originou-se nos vales das regiões montanhosas da Abissínia, com altitudes compreendidas entre 1.000 e 2.500 metros, 6° a 9° de latitude norte e 34° a 40° de longitude leste. A temperatura média dessas regiões é de 20°C, com precipitações bem distribuídas e superiores a 1.600 mm anuais, tendo um período seco de três a quatro meses (RENA & MAESTRI, 1994).

O cafeeiro é uma cultura cultivada em condições ecológicas variadas, com altitudes até 2.000 m, além dos mais variados tipos de solo e clima (CARVAJAL, 1984). Segundo o mesmo autor, o cafeeiro é cultivado em condições desde muito secas, como no Yemen, até muito úmidas, com precipitações pluviométricas superiores a 5.000 mm anuais, como na Índia. O autor ressalta ainda que chuvas excessivas produzem efeitos negativos na produtividade e que valores superiores a 3.000 mm anuais devem ser considerados como não apropriados para a condução econômica dos cafezais.

As regiões climaticamente aptas para a cafeeicultura no Brasil foram delimitadas com base nos fatores térmicos e hídricos predominantes nas áreas de origem dos cafeeiros arábica e robusta. Com respeito ao fator térmico, os parâmetros adotados para o mapeamento das aptidões climáticas, associadas às temperaturas médias anuais propostas por CAMARGO (1985), estão demonstrados na Tabela 1.

**TABELA 1** Zoneamento para o cafeeiro com base nas temperaturas médias anuais

<b>TEMPERATURA MÉDIA ANUAL (°C)</b>		
<b>Aptidão</b>	<b><i>Coffea arabica</i> L. (arábica)</b>	<b><i>Coffea canephora</i> L. (robusta)</b>
<b>Regiões aptas</b>	18 – 22 °C	> 22 °C
<b>Regiões marginais</b>	22 – 23°C	21 – 23 °C
<b>Regiões inaptas</b>	< 18 °C ou > 23 °C	< 21 °C

Fonte: Camargo, 1985.

Para o seu pleno desenvolvimento e ótima produtividade, de modo geral o cafeeiro exige níveis adequados de temperatura. Da germinação das sementes à produção de grãos, a temperatura influencia diretamente as diversas fases da cultura, além dos processos fisiológicos de respiração, fotossíntese e absorção de água e nutrientes, que repercutem como fatores determinantes na produtividade final.

Com relação à distribuição e à quantidade de chuvas, o cafeeiro é uma cultura bastante tolerante. A precipitação anual ótima varia entre 1.200 e 1.800 mm (RENA & MAESTRI, 1994).

De acordo com o fator hídrico, o *Coffea arabica* L. e o *Coffea canephora* L. apresentam exigências muito semelhantes, que estão relacionadas às condições de umidade do solo. Os limites foram adotados com base na deficiência hídrica anual (dha), definida através do balanço hídrico climatológico proposto por THORNTHWAITE & MATHER, 1955 (Tabela 2).

TABELA 2 Zoneamento para o cafeeiro com base na deficiência hídrica anual

DEFICIÊNCIAS HÍDRICAS (mm)		
Aptidão	<i>Coffea arabica</i> L. (arábica)	<i>Coffea canephora</i> L. (robusta)
Regiões aptas	< 150	< 200
Regiões marginais	150 – 200	200 – 400
Regiões inaptas	> 200	> 400

Fonte: Camargo, 1985.

De acordo com CAMARGO (1985), a interação entre a fenologia de frutificação do cafeeiro e o efeito das deficiências hídricas do cafeeiro arábica no hemisfério sul, em latitudes superiores a 4°, pode ser caracterizada da seguinte forma: granação (fase crítica) de janeiro a março; maturação e gemação (fase crítica) em abril, maio e junho; dormência (fase não crítica) em julho, agosto e setembro; frutificação e expansão (fase crítica) em outubro, novembro e dezembro. Segundo o mesmo autor, a ocorrência de estiagens ocasionais e deficiências hídricas acentuadas na fase de frutificação ou expansão afetam o crescimento dos grãos, e, se ocorrerem na fase de granação, quando os frutos estão se solidificando internamente, os grãos poderão ficar chochos ou mal granados.

Períodos secos são importantes para o crescimento da raiz, o desenvolvimento dos ramos formados na estação chuvosa precedente, a diferenciação floral e a maturação dos frutos (HAARER, 1962). Em contrapartida, períodos chuvosos ao longo de todo o ano não permitem que as gemas florais do cafeeiro experimentem um período de repouso durante o seu desenvolvimento, o que é indispensável para que ocorra a floração sincronizada em certas épocas.

Nas fases de colheita e dormência, a exigência hídrica do cafeeiro é pequena e o solo pode ficar mais seco, sem grandes prejuízos para a planta. Uma deficiência hídrica nesse período pode estimular o abotoamento do cafeeiro, conduzindo, ainda, a uma florada mais uniforme quando no reinício das chuvas. A colheita nas regiões mais secas e frias produz café de melhor qualidade (bebida dura para melhor), como ocorre no Sul de Minas Gerais (MATIELLO et al., 1995).

Conforme GOPAL (1974), a deficiência hídrica no solo tem reflexos negativos sobre o sistema radicular, particularmente sobre as raízes absorventes, limitando a absorção de água e nutrientes, o crescimento da parte aérea e a produção da planta. Dessa forma, mesmo em condições consideradas aptas ao cafeeiro, a planta poderá sofrer danos no seu crescimento e/ou produção, com a ocorrência de veranicos durante a estação chuvosa.

Estudos de balanços hídricos nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil e do mundo indicam que o cafeeiro arábico suporta até 150 mm ano<sup>-1</sup> de deficiência hídrica, especialmente se este período não se prolongar até o mês de setembro e se as condições de solo (textura e profundidade) forem adequadas (solos argilosos e profundos). Da mesma forma, para o cafeeiro robusta, a deficiência hídrica não deve exceder a 200 mm ano<sup>-1</sup> (CAMARGO, 1985).

## **2.2 Manejo da irrigação**

O limite de produção de uma cultura é determinado pelo seu potencial genético, pelas condições nutricionais e climáticas. Alcançar esse limite dependerá sempre da consonância entre os aspectos de engenharia de suprimento de água e as necessidades biológicas da cultura. Portanto, a utilização eficaz da água para um ótimo crescimento e altos rendimentos das culturas só poderá ser alcançado quando o planejamento, o projeto e a operação de reposição de água e do sistema de distribuição estiverem orientados com o propósito de atender, em

quantidade e tempo requeridos, incluindo o período de escassez, às necessidades hídricas (DOORENBOS & KASSAM, 1994).

De acordo com JUNQUEIRA et al. (1998), a utilização da irrigação na agricultura brasileira, vem ocorrendo sem um monitoramento criterioso do teor de água no solo; portanto, a ausência de um manejo adequado da água utilizada na irrigação contribui para o seu desperdício.

Um método bastante utilizado no manejo da irrigação para determinar a  $ET_c$  (Evapotranspiração da cultura), partindo da  $ET_0$  (Evapotranspiração de referência) e dos  $K_c$  (Coeficientes de cultura), é o do Tanque Classe "A", que é recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 1985). A utilização do método do Tanque Classe "A" para o manejo da irrigação possui algumas vantagens, dentre elas o custo relativamente baixo, a possibilidade de instalação próxima à cultura a ser irrigada, a facilidade de operação e a boa estimativa da demanda hídrica das culturas.

### **2.3 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )**

De acordo com Thornthwaite (1948), citado por PEREIRA et al. (1997), o termo evapotranspiração potencial ( $ET_p$ ) expressa a ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de uma extensa superfície gramada, sem restrição hídrica e em crescimento ativo. Assim definida, a  $ET_p$  representa um elemento climatológico que corresponde ao processo oposto da chuva, sendo expressa na mesma unidade de medida (mm), tornando possível a estimativa da demanda hídrica da cultura das condições ou disponibilidade de água no solo através do balanço hídrico climatológico.

A evapotranspiração pode ser determinada por meio de medidas diretas ou por modelos que levam em consideração a utilização de elementos meteorológicos. No primeiro grupo são utilizados diversos tipos de lisímetros, além do método de balanço de água no solo; já no segundo grupo são utilizados

modelos teóricos, empíricos e evaporímetros, como o Tanque Classe "A". Segundo PERES et al. (1995), apesar de fornecerem as melhores estimativas de evapotranspiração, os métodos diretos são de difícil operacionalidade, motivo pelo qual seu uso se restringe basicamente a centros de pesquisa visando calibrar os métodos do segundo grupo. Devido a essas dificuldades, vários métodos teóricos e empíricos foram desenvolvidos com o intuito de estimar a evapotranspiração, sendo alguns bastante simples, os quais necessitam somente da temperatura do ar como variável climática, e outros com uma configuração teórica mais complexa, que requerem um maior número de elementos meteorológicos na sua utilização.

O boletim 24 da *Food and Agriculture Organization* (FAO), preparado por DOORENBOS & PRUITT (1977), utilizou o conceito de  $ET_p$ , como referência para estimar as necessidades hídricas das culturas, explicitando que a grama deve ter entre 0,08 a 0,15 m de altura para melhor caracterizar a superfície foliar transpirante. Em 1990, a FAO reuniu uma equipe de especialistas em evapotranspiração para rever esse boletim. A partir dessa reunião parametrizou-se o método de Penman-Monteith (FAO) como o mais indicado para estimar a evapotranspiração de uma cultura na escala diária PEREIRA et al. (1997). A adoção desse boletim pela comunidade irrigante consagrou o termo evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) introduzido por JENSEN et al. (1971).

Segundo MEDEIROS (2002), o método Penman-Monteith (FAO) é uma referência internacional e representa uma cultura hipotética que permite a obtenção de resultados confiáveis do potencial de evapotranspiração de um local. ALLEN et al. (1998), em trabalhos recentes, redefiniu  $ET_0$  como sendo aquela de um gramado hipotético, com altura de 0,12 m, albedo igual a 0,23 e resistência da superfície ao transporte de vapor d'água igual a  $70 \text{ s m}^{-1}$ . Para um gramado com essas condições, o índice de área foliar (IAF) está em torno de 3,0

m<sup>2</sup> de área foliar por m<sup>2</sup> de terreno ocupado, assemelhando-se a uma superfície verde, sombreando totalmente o solo, bem suprida de umidade e em crescimento ativo. A superfície gramada predominantemente utilizada no Brasil é a grama batatais (*Paspalum notatum* Flugge), conhecida como grama forquilha ou “bahia grass”, sendo também adotada como vegetação nos postos agrometeorológicos. Esta gramínea é originária da América do Sul e Central, apresentando a vantagem de adaptar-se bem a quase todo o tipo de solo, crescendo vigorosamente em solos com boa fertilidade e umidade. A grama batatais, como a maioria das gramíneas tropicais, tem maior crescimento em temperaturas entre 30 e 35°C, o qual praticamente cessa em temperaturas inferiores a 15°C (RAMOS, 1997).

#### **2.4 Evapotranspiração real (ET<sub>r</sub>)**

Evapotranspiração real é aquela que ocorre numa superfície vegetada independentemente de sua área, de seu porte e das condições de umidade do solo; portanto, ET<sub>r</sub> é aquela que ocorre em qualquer circunstância, sem imposição de qualquer condição de contorno (PEREIRA et al., 1997). A ET<sub>r</sub> pode ser limitada tanto pela disponibilidade de radiação solar como pelo suprimento de umidade do solo.

#### **2.5 Evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>)**

A determinação da evapotranspiração do cafeeiro, assim como os coeficientes utilizados no manejo da irrigação, têm sido o grande desafio dos pesquisadores, os quais procuram caracterizar regionalmente esses fatores buscando a condição ideal de suprimento hídrico da cultura e a preservação dos mananciais de captação (BERNARDO, 1995).

Uma cultura cresce progressivamente e ocupa uma área disponível desde o plantio até a sua colheita. Evidentemente, nessas condições ocorre a

evapotranspiração real, que na prática é denominada evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). DOORENBOS & KASSAM (1994) chamaram  $ET_c$  de evapotranspiração máxima.

O conhecimento da  $ET_c$  permite estimar a quantidade de água que deve ser reposta ao solo para manter o crescimento e a produção da cultura em condições ideais. Em condições de campo, os lisímetros e o balanço hídrico são os métodos mais utilizados para a determinação da  $ET_c$ .

## 2.6 Coeficiente de cultura ( $K_c$ )

O coeficiente de cultura é um indicador de significado físico e biológico, uma vez que depende da área foliar, da arquitetura (parte aérea e sistema radicular da planta), da cobertura vegetal e da transpiração da planta (DENMEAD & SHAN, 1962; JENSEN, 1969; WRIGHT, 1982; ALLEN et. al., 1994). Na definição de seus valores não é considerada diretamente, para efeito de cálculo, a superfície transpirante, que depende da população e da distribuição de plantas, bem como, do manejo da cultura em relação às plantas daninhas. A determinação do  $K_c$  para o cafeeiro precisa de mais experimentação agrônômica, abrangendo maior diversidade climática (ARRUDA et. al., 2000).

No decorrer do período vegetativo, o valor de  $K_c$  muda de acordo com o crescimento e o desenvolvimento da cultura, variando também com a fração de cobertura da superfície do solo pela vegetação à medida que as plantas envelhecem e atingem a maturação (SEDIYAMA et. al., 1998). Os mesmos autores ressaltam, ainda, que o  $K_c$  pode variar com a textura e o teor de água do solo, com a profundidade e a densidade do sistema radicular e com as características fenológicas da planta. Entretanto, o conceito de  $K_c$  tem sido usado extensivamente para estimar a necessidade real de água de uma cultura particular por meio de estimativas ou medições de  $ET_c$ .

Um simples valor de  $K_c$  não pode ser estabelecido para todas as situações climáticas; portanto, deve ser determinado um coeficiente de cultura para cada estágio de desenvolvimento da cultura em estudo. Isto é o que vários resultados de pesquisas vêm demonstrando com relação à  $ET_c$ .

OLIVEIRA (2003) reporta que atualmente utiliza-se um novo conceito de  $K_c$ , que combina os efeitos da resistência do movimento da água no solo para vários tipos de superfície e a resistência da difusão de vapores da superfície para a atmosfera, ou seja, o novo  $K_c$  incorpora o ajuste devido ao molhamento da superfície do solo no período de chuva ou na época de irrigação.

Teoricamente, o  $K_c$  pode ser decomposto em dois componentes, um relacionado à planta ( $K_{cp}$ ), também chamado de basal, e outro relacionado ao solo ( $K_{cs}$ ) (JENSEN et al., 1971; WRIGHT, 1982).

Existem poucos relatos de pesquisas disponíveis sobre o  $K_c$  relacionado ao cafeeiro e sua dinâmica em relação ao ambiente. SANTINATO et al. (1996) apresentam uma primeira aproximação de valores do  $K_c$  para o cafeeiro, de acordo com o espaçamento entre ruas e plantas conforme a idade da lavoura (Tabela 3).

TABELA 3 Coeficiente de cultura ( $K_c$ ) do café (*Coffea arabica* L.)

Idade (anos)	Espaçamento (m) Rua x Plantas	Nº plantas/ha	$K_c$
> 3 (adulta)	> 3,0 x >1,0	2500	1,0
	> 3,0 x 0,5 a 1,0	3333	1,2
	2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0	6666	1,2
	1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0	13333	1,3
De 1 a 3	> 3,0 x >1,0	2500	0,8
	> 3,0 x 0,5 a 1,0	3333	0,9
	2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0	6666	1,0
	1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0	13333	1,1
De 0 a 1	> 3,0 x >1,0	2500	0,6
	> 3,0 x 0,5 a 1,0	3333	0,7
	2,0 a 3,0 x 0,5 a 1,0	6666	0,8
	1,0 a 2,0 x 0,5 a 1,0	13333	0,9

Fonte: Santinato et al. (1996).

BLORE (1964) encontrou, para o cafeeiro, um coeficiente de cultura ( $K_c$ ) de 0,5 para estação seca e de 0,8 para a estação úmida. GUTIÉRREZ & MEINZER (1994) apresentaram um  $K_c$  de 0,58 para cafeeiros com aproximadamente um ano de plantio e valores médios de 0,75 e 0,79 no período de dois a quatro anos de idade. Para cafezais com manejo adequado e altura de 2 a 3 metros, em clima subúmido, ALLEN et. al. (1998) propõem um  $K_c$  entre 0,90 e 0,95 na ausência de plantas daninhas e de 1,05 a 1,10 na presença destas, adotando a evapotranspiração de referência estimada pela equação de Penman-Monteith (FAO). ARRUDA et. al. (2000) obtiveram valores de  $K_c$  que variaram entre 0,73 e 0,75 nos primeiros anos de plantio e de 0,87 a 0,93 aos 7 e 8 anos, respectivamente. COELHO (2004) encontrou  $K_c$  variando de 0,1 a 0,5, estudando o cafeeiro em formação, com início em 603 graus dias de desenvolvimento (GDD) e término em 2673 GDD.

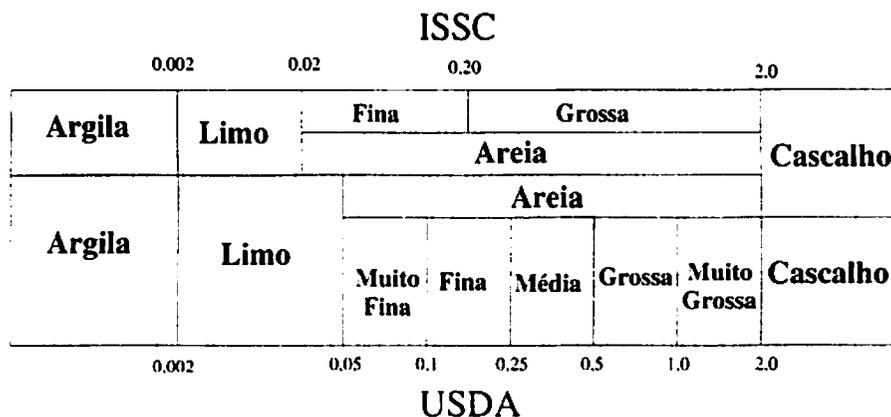
## 2.7 Caracterização físico-hídrica do solo

### 2.7.1 Classe textural

Conforme MIRANDA et al. (2001), a textura exerce influência em diversas variáveis relacionadas com a interação água e solo.

De acordo com PREVEDELLO (1996), existem muitas classificações para definir as escalas de tamanho das partículas, no entanto utiliza-se a escala proposta pela Sociedade Internacional de Ciência do Solo (ISSC), que adota a escala originalmente proposta por Attemberg e a escala proposta pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). A Figura 1 mostra a classificação textural dos solos de acordo com a ISSC e USDA.

A textura do solo constitui uma das características físicas mais estáveis, portanto apresenta grande importância, tanto na identificação dos solos quanto na predição de seus comportamentos (OLIVEIRA, 2003). Sendo assim, a análise granulométrica é utilizada principalmente objetivando ao manejo racional e adequado do solo.



**FIGURA 1** Classificação textural dos solos de acordo com o tamanho das partículas em mm (KLAR, 1991).

### 2.7.2 Densidade do solo ( $\rho_s$ )

De acordo com KIEHL (1979), a densidade do solo pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de solo secado a 110°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. Ainda segundo o autor, a densidade geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o fenômeno de compactação, reduzindo a porosidade. A movimentação do material fino dos horizontes superiores para os inferiores, por eluviação, também concorre para reduzir os espaços porosos e aumentar a densidade dessas camadas.

A densidade do solo reflete o arranjo das partículas do solo, o mesmo que define as características do sistema poroso, e depende da estrutura, da umidade, da compactação e do manejo do solo, principalmente (FERREIRA et al., 2003).

Conforme PREVEDELLO (1996), a compactação afeta todos os processos de transporte ocorrentes no solo (aeração; condutividade do solo ao ar, à água, ao calor; infiltração; redistribuição; etc), além dos processos de transformações químicas e biológicas, de impedimentos mecânicos na emergência de plântulas e no desenvolvimento de raízes. Assim, a compactação pode comprometer severamente a produção agrícola. No entanto, MIRANDA et al. (2001) salientam que não se pode tomar como base única essa variável para comparar a condição de compactação entre solos, uma vez que a textura exerce grande influência no seu valor.

Os intervalos de valores obtidos na superfície dos solos cultivados encontram-se na Tabela 4.

**TABELA 4.** Intervalos de valores para a densidade do solo encontrados na camada superficial de solos cultivados

<b>CLASSES DE SOLOS</b>	<b><math>\rho_s</math> (kg m<sup>-3</sup>)</b>
Arenosos	1.250 – 1.400
Argilosos e francos	1.000 – 1.400
Humíferos	750 – 1.000
Turfosos	200 - 450

Fonte: Prevedello, 1996

### **2.7.3 Densidade de partículas (pp)**

Conceitualmente, define-se a densidade de partículas como a relação existente entre a massa de uma amostra de solo e o volume ocupado pelas partículas sólidas (KLAR, 1991).

Na maior parte dos solos minerais a densidade de partícula varia de 2.600 a 2.700 kg m<sup>-3</sup> pela influência dominante do quartzo, que apresenta peso específico de 2.650 kg m<sup>-3</sup>. Este valor pode ser alterado pela presença dos óxidos de ferro e metais pesados, aumentando seu valor, enquanto que a matéria orgânica provoca seu abaixamento (PREVEDELLO, 1996; LIBARDI, 1999).

A maior dificuldade na determinação da densidade de partículas está na obtenção do volume dos sólidos, sendo o método do Picnômetro, com emprego de água destilada desaerada sob vácuo, e o método do balão volumétrico, com emprego do álcool etílico, os mais usados (FERREIRA et al., 2003).

### **2.7.4 Porosidade**

A relação entre a densidade global e a densidade de partículas nos informa sobre a porosidade total ( $\alpha$ ) de um solo. Segundo PREVEDELLO (1996), a porosidade total, também chamada fração volumétrica total dos poros,

é uma importante característica dos solos, pois tanto a solução quanto o ar do solo são armazenados e transportados dentro dos espaços porosos, além de as raízes das plantas ocuparem esses espaços. O mesmo autor apresentou uma relação com intervalos de valores que têm sido encontrados na superfície de solos cultivados (Tabela 5).

KIEHL (1979) cita que a porosidade pode ser classificada em porosidade capilar, denominada microporosidade, e porosidade não capilar ou macroporosidade. Os microporos garantem a retenção e o armazenamento de água para as plantas, enquanto os macroporos são importantes para a aeração do solo e infiltração da água. A importância relativa destes conjuntos de poros depende do tipo de cultivo, das condições climáticas, da posição do lençol freático e da possibilidade de irrigação, além do controle ambiental.

**TABELA 5** Intervalos de valores de porosidade encontrados na superfície de solos cultivados

<b>Classe de Solos</b>	<b><math>\alpha</math> (m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>)</b>
Arenosos	0,35 – 0,50
Siltosos e francos	0,30 – 0,55
Argilosos	0,40 – 0,65
Humíferos	0,60 – 0,80
Turfosos	0,80 – 0,85

Fonte: Prevedello, 1996.

### **2.7.5 Retenção de água no solo**

A retenção de água no solo pode ser representada graficamente pela curva de retenção, que relaciona umidade e potencial mátrico do solo. A

interação entre as três fases distintas em que o solo se apresenta, sólida (matriz do solo), líquida (solução aquosa) e gasosa (ar do solo), interfere no estado energético com que a água se movimenta no solo (LIBARDI, 2000).

A influência da umidade do solo sobre o potencial mátrico pode ser avaliada a partir de três formas: Funil de Haines, Câmara de pressão de Richards e Tensiômetros. Na confecção da curva de retenção pode-se partir de amostras saturadas ou secas, obtendo-se, assim curvas por molhamento e secamento, respectivamente. REICHARDT (1985) salienta que a umidade do solo na condição de equilíbrio, a uma dada tensão, é maior na curva de secamento do que na curva de molhamento. Este fenômeno é atribuído à histerese, oriundo da não uniformidade dos poros individuais com relação a fenômenos de capilaridade, as bolhas de ar que permanecem fixas dentro dos macroporos e à expansão das argilas durante secamento e molhamento.

Características de um solo tais como textura, estrutura, grau de compactação e teor de matéria orgânica influem na curva de retenção de água no solo (PREVEDELLO, 1996).

PORTELA (2000), estudando o efeito da retenção de água num latossolo amarelo com textura arenosa sob diferentes usos, constatou que até uma profundidade 0,3 m, devido à compactação promovida pelo cultivo de citrus, houve uma menor retenção de água a baixas tensões em comparação com uma área de mata.

Em sistemas de cultivo como plantio direto e plantio convencional também se observa uma variação nas curvas de retenção. ESPÍRITO SANTO (1998), estudando a transmissão de água num latossolo roxo sob diferentes cultivos, ao comparar a curva de retenção de água no solo do sistema de plantio direto irrigado com a do sistema convencional irrigado, verificou que este último perde mais água após um incremento de tensão de 0,5 a 0,8 kPa. Conforme o mesmo autor, este fato é uma indicação de que a quantidade e a distribuição do

tamanho de poros são diferentes nos dois sistemas, ou seja, para o sistema convencional há um maior volume de macroporos responsáveis pelo processo mais rápido de drenagem para o intervalo de tensão considerado.

De acordo com HILLEL (1971), poros grandes perdem água retida por capilaridade a potenciais elevados, enquanto pequenos poros retêm água até potenciais baixos, a qual fica adsorvida no sistema coloidal, ocasionando uma alta retenção. JORGE & PRADO (1988) comentam que a textura e a estrutura do solo são atributos que influenciam diretamente na retenção da água pelo solo.

#### **2.7.6 Infiltração da água no solo**

Denomina-se infiltração o processo pelo qual a água penetra no solo através de sua superfície. A velocidade de infiltração d'água em um solo é um fator muito importante na irrigação, visto que determina o tempo em que se deve manter a água na superfície do solo ou a duração da aspersão, de modo que se aplique uma quantidade desejada de água, evitando que ocorra o deflúvio superficial, fenômeno responsável pela erosão (BERNARDO, 1995).

A infiltração determina o balanço de água na zona radicular e, por isso, o conhecimento deste processo e de suas relações com as propriedades do solo é de fundamental importância para o eficiente manejo do solo e da água (BRANDÃO et al.,2002). De acordo com o BERNARDO (1995), para um mesmo tipo de solo, a velocidade de infiltração varia com a umidade do solo no momento da aplicação, sua porosidade e a existência de camadas compactadas. Na Tabela 6, BERNARDO (1995) classifica o solo tomando como parâmetro a sua velocidade de infiltração básica (VIB).

**TABELA 6** Classificação do solo quanto a VIB

<b>Tipos de Solo</b>	<b>VIB (cm h<sup>-1</sup>)</b>
VIB muito alta	> 3,0
VIB alta	1,5 – 3,0
VIB média	0,5 – 1,5 <sup>1</sup>
VIB baixa	< 0.5

Fonte: Bernardo. (1995).

LIBARDI (1999) relata que num perfil de solo uniforme a distribuição da água com a profundidade, quando se tem uma pequena carga hidráulica sobre a superfície do solo, é dado por: a) zona de saturação, na qual presume-se estar o solo saturado; b) zona de transição, região de rápido decréscimo de umidade; c) zona de transmissão, porção do perfil através da qual a água é transmitida com variações muito pequenas de umidade; d) zona de umedecimento, região de variação relativamente rápida de umidade; e e) frente de molhamento, compreendendo uma pequena região na qual o gradiente de umidade sofre uma variação bastante abrupta, representando o limite visível da penetração de água no solo.

A determinação de infiltração de água no solo deve ser feita por métodos simples e capazes de representar adequadamente as condições em que se encontra o solo (PRUSKI et al., 1997). Os equipamentos mais utilizados são o infiltrômetro de anel e o simulador de chuvas.

O método da infiltração de água no solo, utilizando o simulador de chuvas, é mais preciso quando comparado ao infiltrômetro de anel. O fator que contribui para que as taxas de infiltração obtidas com o infiltrômetro de anel sejam superiores à obtida pelo simulador de chuvas é que no infiltrômetro de anel existe uma lâmina de água sobre a superfície do solo, o que proporciona maior potencial para promover a infiltração (BRANDÃO et al.,2002).

### **2.7.7 Capacidade de campo**

Veihmeyer & Hendrickson, citados por CARVALHO et al (1996), provavelmente foram os primeiros pesquisadores a estudarem a capacidade de campo, definida como a quantidade de água remanescente no solo, dois ou três dias após a irrigação, quando a drenagem livre é desprezível.

Com os conhecimentos atuais do movimento da água em solos saturados e não saturados, tornou-se evidente que a capacidade de campo é um conceito arbitrário, e não uma propriedade física do solo. Em solos de textura grossa, geralmente a redução da intensidade de movimento com a diminuição da umidade do solo, abaixo de certos valores, apresenta uma faixa de transição bem nítida, tornando a capacidade de campo bem definida. Porém, em alguns solos de textura fina, não há nítida faixa de transição na redução da intensidade de movimento da água, tornando o conceito de capacidade de campo pouco preciso (BERNARDO, 1995).

### **2.7.8 Disponibilidade de água no solo**

A água no solo teoricamente disponível para as plantas é armazenada entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Em termos de potencial mátrico esta água disponível se encontra entre 1,0 – 3,0 kPa e 150 kPa. Diz-se teoricamente disponível porque para muitas plantas, muito antes de o solo atingir o ponto de murcha permanente, a água já deixa de ser disponível, portanto o conceito clássico de água disponível não fornece um critério para caracterizar o solo quanto a sua capacidade de armazenamento, sendo que de um modo geral, um solo raso ou de textura grossa apresenta uma menor capacidade de retenção, exigindo irrigações mais freqüentes (MIRANDA et al. 2001).

### 2.7.9 Condutividade hidráulica

Segundo PREVEDELLO (1996), o primeiro estudo realizado sobre movimento de água em meio poroso aconteceu em 1856, pelo engenheiro hidráulico francês Henry Darcy, quando estudou a filtragem de água por meios porosos para fins de abastecimento de água em Dijon, na França.

Darcy demonstrou que a densidade de fluxo, isto é, o volume de água que passa por unidade de área e tempo de uma coluna de material permeável é proporcional ao gradiente de potencial hidráulico e à condutividade hidráulica do meio. A equação de Darcy escrita na forma diferencial apresenta-se da seguinte forma:

$$q = -K_0 \times \frac{\Delta\phi}{L} \quad (1)$$

Em que:

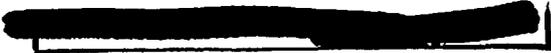
$q$  - densidade de fluxo ( $L T^{-1}$ );

$K_0$  - condutividade hidráulica do solo saturado ( $L T^{-1}$ );

$\Delta\phi/L$  - gradiente do potencial total (a força responsável pelo movimento do líquido no meio poroso, adimensional).

Posteriormente, Buckingham, em 1907, alterou esta equação para que pudesse ser aplicada em solos não saturados, já que é a situação mais comum. Logo, esta equação ficou conhecida como equação de Darcy – Buckingham.

De acordo com MIRANDA et al. (2001), a condutividade hidráulica pode ser definida como sendo o coeficiente de proporcionalidade apresentado pela equação de Darcy, o qual expressa a “facilidade” com que determinado fluido se desloca no meio, mostrando-se dependente das características do meio e do fluido.



Um solo muito poroso pode ser muito condutivo se seus poros forem grandes e bem interconectados, tal como se verifica em areias limpas ou quase impermeáveis se seus poros são muito pequenos, como ocorre em alguns solos argilosos ou em certos materiais vulcânicos. Em geral, solos pouco porosos tendem ser pouco condutivo, já que as conexões entre os poros são mais difíceis (PREVEDELLO, 1996).

Conforme KLAR (1991), os valores médios de condutividade hidráulica variam de  $10^{-3}$  a  $10^{-2}$   $\text{cm s}^{-1}$  no caso dos solos arenosos e de  $10^{-4}$  a  $10^{-3}$   $\text{cm s}^{-1}$  para solos argilosos. Além da textura, outras variáveis de solo afetam a condutividade, como estrutura, porosidade, tamanho dos poros, grau de compactação dos solos e características do fluido.

#### **2.7.10 Condutividade hidráulica do solo não saturado ( $K_{\theta}$ )**

O fluxo de água em solo não saturado ocorre, em qualquer condição de umidade, abaixo do valor de saturação. A maioria dos processos que envolvem movimento de água no solo, dentro ou fora de uma cultura, ocorre com o solo em condições não saturadas. Estes processos de fluxo em solo não saturado são geralmente complicados e de difícil descrição quantitativa. Em condições de não saturação, a primeira modificação na equação de Darcy envolve o reconhecimento de que os poros ocupados por ar reduzem a área efetiva ao fluxo, aumentando a tortuosidade do fluxo remanescente (PREVEDELLO, 1996).

Para HILLEL (1971), a diferença entre os meios saturados e não saturados está na condutividade hidráulica. Quando o solo está saturado, seus poros estão preenchidos e conduzindo água, apresentando uma condutividade máxima. Já em condição de não saturação, alguns poros ficam preenchidos com ar e a condutividade hidráulica decresce rapidamente. Assim, sabe-se que tanto

para meios saturados quanto não saturados, a maior dificuldade na quantificação do fluxo da água encontra-se na determinação da condutividade hidráulica.

A aplicação da equação de Darcy – Buckingham é altamente dependente da estrutura do solo e a determinação da condutividade hidráulica torna-se uma das maiores dificuldades encontradas. Determinações por meio de amostras deformadas não são desejáveis, uma vez que não se preserva a estrutura do solo. Já as amostras indeformadas, por sua vez, podem permitir fluxo de escoamento preferencial entre o solo e as paredes do cilindro. Assim, os métodos “*in situ*” apresentam melhores consistências nos valores obtidos para a condutividade hidráulica não saturada do que os laboratoriais, principalmente porque preservam as propriedades físicas do solo. Alternativamente ao método “*in situ*” existem as estimativas da condutividade hidráulica a partir de dados do solo, dentre eles os da curva de retenção de água no solo, os quais são mais facilmente disponíveis (LIBARDI, 1999), como a equação de MUALEM (1976), que relaciona parâmetros da equação de van Genuchten (1980).

Dentre os métodos mais estudados no laboratório destacam-se os permeômetros de carga variável e constante (método direto) e a determinação da condutividade com base nos teores de limo e argila, sendo mais utilizado para a irrigação o permeômetro de carga constante. Quanto aos métodos “*in situ*” destacam-se o perfil instantâneo e o permeômetro de Guelph.

SAUNDERS (1978) considera que a determinação da condutividade hidráulica em condições de campo apresenta uma aproximação das condições reais, ao contrário do método de laboratório, que utiliza amostras simples de solo, apresentando maior quantidade de erros pelas alterações das condições naturais.

O método do perfil instantâneo é um método de campo que foi aperfeiçoado por HILLEL et al. (1972) e simplificado por LIBARDI et al (1980). Dentre as suas vantagens, pode ser citada a obtenção de medidas diretas

no campo em estudo, apresentando uma maior precisão dos valores de condutividade hidráulica quando comparado com os métodos de laboratório. Em contrapartida, este é um método trabalhoso, com um consumo elevado de tempo, e principalmente mão-de-obra desde a instalação até a manutenção, o que pode ser dificultado ainda mais se o solo apresentar algum tipo de impedimento físico. Outro método é o permeâmetro de Guelph, que é considerado uma ferramenta que fornece medidas simples e precisas. Avaliações precisas de condutividade, absorção e potencial de fluxo são realizáveis em todo tipo de solo.

## **2.9 Balanço hídrico do solo**

Segundo PEREIRA et al. (1997), o balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento da água no solo que resulta na aplicação do princípio de conservação de massa, ou seja, a contabilização das entradas e saídas de água em um volume de solo num dado intervalo de tempo.

O balanço hídrico do solo é fundamental, pois define as condições hídricas sob as quais a cultura se desenvolve (REICHARDT, 1985). O consumo de água pelas comunidades vegetais é um importante parâmetro a ser considerado na avaliação da produtividade das culturas. Uma forma pela qual esse consumo de água (evapotranspiração) pode ser determinado é através do balanço hídrico do solo.

A disponibilidade de água no solo não se baseia apenas em dados de precipitação pluvial, mas também é necessário levar em conta as perdas de água no solo para a atmosfera, que se verificam normalmente através da perda de água por evaporação mais transpiração vegetal (ANDREATTA, 1990).

Para prover as disponibilidades hídricas do solo necessárias à cultura do cafeeiro não basta apenas considerar os dados de precipitação pluvial do período em estudo, o qual corresponde apenas ao processo de suprimento de água para o uso das plantas. É necessário considerar também os processos de perda de água

do solo para a atmosfera, realizando-se, portanto, o balanço hídrico da água no solo (CAMARGO, 1987).

Nesses balanços contábeis, o solo funciona como um reservatório de água: a precipitação e/ou a irrigação como entrada e a evapotranspiração como saída de água (CAMARGO, 1987). O movimento cíclico da água no solo começa com a infiltração, continua com o seu armazenamento temporário na região do sistema radicular da cultura e termina com sua remoção do solo por meio da drenagem, da evaporação e da absorção de água pelas raízes (HILLEL, 1970).

Segundo GUANDIQUE (1993), o balanço hídrico pode ser realizado através de dados obtidos num volume de controle do solo ou por meio de uma série de dados climatológicos disponíveis em um determinado local, e podendo ser classificado como balanço hídrico do solo e climatológico, respectivamente. Independente do método utilizado, a determinação da evapotranspiração da cultura é difícil, onerosa e sujeita a muitos erros, porém seu conhecimento é muito importante para manter o solo em condições ideais ao crescimento e desenvolvimento vegetativo das culturas.

A metodologia do balanço hídrico num volume de controle de solo tem sido apresentada por vários autores (ROSE, 1966; SLATYER, 1967; REICHARDT et al., 1979), sendo seus componentes (precipitação, irrigação, evapotranspiração da cultura, deflúvio superficial ou “run-off”, drenagem e ascensão capilar e variação do armazenamento de água no solo) apresentados forma integral ou diferencial numa equação geral de balanço de massa (VOLPE, 1986). Atualmente a ênfase desses balanços tem sido dada à disponibilidade de água no solo relacionada com elementos climáticos e com o desenvolvimento vegetativo.

### **2.9.1 Precipitação pluvial e irrigação**

As componentes precipitação e irrigação se apresentam como as principais formas de entrada de água no volume de controle. A precipitação pode ser medida com considerável precisão por pluviômetros ou obtida por registros de pluviógrafos. O problema principal consiste na representatividade dos dados coletados pela estação meteorológica. De acordo com CRUZ (2003), a distância da estação em relação à cultura onde é efetuado o balanço assume uma importância fundamental, sendo recomendável que a medida da precipitação seja feita o mais próximo possível da área experimental. A irrigação consiste na aplicação artificial de água no solo, visando manter o armazenamento em nível adequado ao pleno desenvolvimento das culturas. Para que as plantas se desenvolvam nas condições ideais é necessário que as lâminas de irrigação sejam bem quantificadas e aplicadas corretamente, de forma a não provocar o stress hídrico ou o excesso de água para as plantas.

### **2.9.2 Deflúvio superficial ou “run – off” (R)**

Outro elemento do balanço hídrico é o deflúvio superficial ou “run-off”, que representa um dos elementos de saída de água no perfil do solo. A determinação do deflúvio superficial pode ser feita por meio de técnicas e estruturas apropriadas, porém em algumas situações as medidas diretas se tornam difíceis devido ao volume de água envolvido e à variação com a declividade (ROSE, 1966).

O deflúvio superficial depende da interação entre a intensidade de precipitação e/ou a taxa de aplicação da irrigação e a capacidade de infiltração do solo, sendo ainda influenciada pelo declive da área, o tipo de densidade da cobertura vegetal e as práticas de manejo e conservação do solo e da cultura. Embora de difícil quantificação, a sua determinação pode ser alcançada pelo

## 3 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização da área experimental

Os experimentos foram conduzidos em uma lavoura de café *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí Vermelho (IAC 44), na Fazenda Müquem, de propriedade da Fundação de Apoio ao Ensino, Pesquisa e Extensão (FAEPE/UFLA), em Lavras (MG), a uma altitude de 910 metros, latitude sul de 21° 14' e longitude oeste de 45°00', ocupando uma área útil de 2240 m<sup>2</sup>.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distrófico Típico conforme EMBRAPA (1999). De acordo com a classificação climática de Köppen, cujo roteiro é apresentado por VIANELLO & ALVES (1991), utilizando as Normais Climatológicas (1961 – 1990) (BRASIL, 1992), o clima de Lavras foi classificado como Cwa (Clima subtropical de inverno seco e verão quente).

O primeiro experimento (Figura 2) foi constituído por uma cultura de cafeeiro adulto, com 19 anos de idade em 2004, dividida em quatro blocos casualizados em esquema de faixa, as quais foram subdivididas em cinco subparcelas com oito plantas, das quais as seis plantas centrais foram consideradas úteis, sendo as extremidades as bordaduras. O segundo experimento (Figura 3) correspondeu a uma cultura de cafeeiro recepado no ano 2000, a 0,30 m de altura, a qual, foi dividido em três blocos, cada bloco foi dividido em quatro parcelas casualizadas, as quais foram subdivididas em cinco subparcelas sem casualização. Toda área experimental tinha espaçamentos de 3,5 m entre linhas e 0,80 m entre plantas.

### ÁREA EXPERIMENTAL DA CULTURA ANTIGA

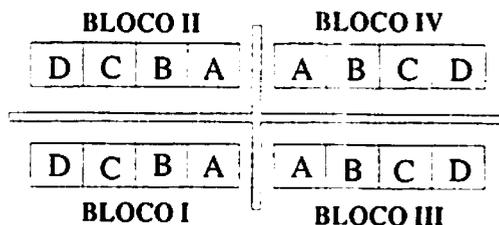


FIGURA 2 Croqui da área experimental com cafeeiro adulto.

### ÁREA EXPERIMENTAL DA CULTURA RECEPADA

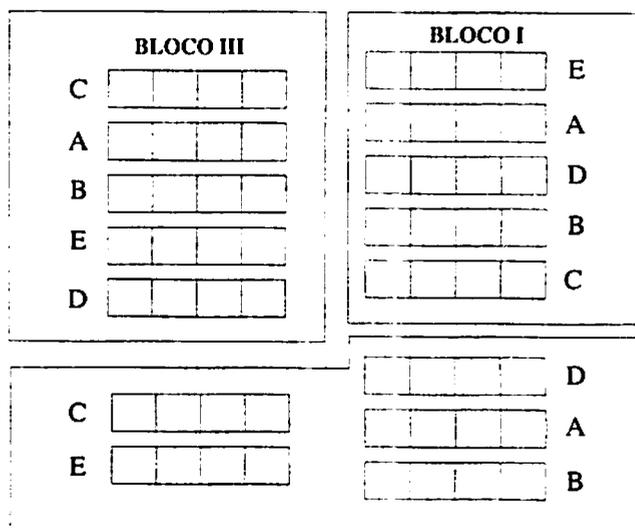


FIGURA 3 Croqui da área experimental com cafeeiro repicado.

Foram instaladas baterias compostas de três tensiômetros digitais, nas profundidades de 0,10; 0,30 e 0,50 m, nas duas áreas experimentais. A área da cultura repicada, além dos tensiômetros, recebeu baterias compostas de três blocos de resistências elétricas nas mesmas profundidades.

O balanço hídrico para a área do cafeeiro adulto foi estabelecido em um experimento já existente sobre épocas de irrigação (Tabela 7), enquanto para a área da cultura recepada foram analisados os efeitos da irrigação com e sem período de déficit hídrico (Tabela 8).

**TABELA 7** Início e final das irrigações nas subparcelas, na área da cultura antiga

IRRIGAÇÕES		
SUB - PARCELAS	INÍCIO	FINAL
A	01/06	30/09
B	15/07	30/09
C	01/09	30/09
D	Não Irrigada (Testemunha)	

**TABELA 8** Início e final das irrigações nas subparcelas, na área da cultura recepada

IRRIGAÇÕES		
SUB - PARC.	INÍCIO	FINAL
A	01/04	30/09 (sem déficit hídrico)
B	01/04	30/09 (30 dias de déficit hídrico em junho)
C	01/04	30/09 (31 dias de déficit hídrico em julho)
D	01/04	30/09 (61 dias de déficit hídrico junho e julho)
E	Não Irrigado (Testemunha)	

A partir do mês de outubro foram realizadas as irrigações devido à ocorrência de períodos longos sem chuvas (veranicos). O momento de irrigar foi identificado por meio do monitoramento da umidade do solo, evitando, assim, que as plantas ficassem sob estresses hídricos durante este período.

### 3.2 Sistema e manejo de irrigação

O sistema de irrigação constou de uma unidade central de controle composta pelo sistema de bombeamento, filtros de areia e de disco, injetor de fertilizantes e manômetros e linhas de irrigação com tubos flexíveis de polietileno com gotejadores auto-compensantes, vazão nominal de 1,6 L h<sup>-1</sup> e espaçamento entre emissores de 0,30 e 0,45 m, respectivamente na área da cultura antiga e recepada. A fonte de água foi uma represa situada próxima à área experimental. Os dados meteorológicos necessários ao manejo da irrigação foram obtidos junto à mini estação meteorológica, situada no sítio experimental.

A lâmina de água aplicada nos meses de junho a setembro (área da cultura antiga) e abril a setembro (área da cultura recapada), foi definida em função da evapotranspiração acumulada entre as irrigações, que foram sempre realizadas às segundas, quartas e sextas – feiras. A transformação da lâmina de irrigação em volume de água foi calculada com base na Equação 2:

$$V = \left[ \left( \sum_{j=1}^2 ECA \times K_p \times K_c \right) - P \right] \times A \times F \quad (2)$$

Em que:

*V* - Volume de água a ser aplicado (litros planta<sup>-1</sup>);

*ECA* - Evaporação do tanque classe A no período entre irrigações (mm);

*K<sub>p</sub>* - Coeficiente do tanque (0,7);

*K<sub>c</sub>* - Coeficiente de cultura para o café (1,1);

*A* - Área útil entre plantas (2,8 m<sup>2</sup> planta<sup>-1</sup>);

*P* - Precipitação pluvial ocorrida no período (mm);

*F* - Fator de localização (0,5).

Considerando o volume de água a ser aplicado (*V*) e a vazão dos gotejadores (*q*), obtém-se o tempo necessário de irrigação (*T*), Equação 3:

$$T = \frac{V}{q} \quad (3)$$

Em que

*T* - Tempo necessário de irrigação (horas);

*V* - Volume de água a ser aplicado (litros planta<sup>-1</sup>);

*q* - Vazão dos gotejadores (4,27 l h<sup>-1</sup> para área da cultura antiga e 2,84 l h<sup>-1</sup> para área da cultura recepada).

Entre os meses de outubro e março, mesmo ocorrendo maior emissão de ramos vegetativos, além do enchimento dos grãos, restringiram-se as irrigações somente às lâminas aplicadas durante a fertirrigação e/ou houve uma aplicação de emergência porque na região de Lavras as precipitações concentram-se justamente neste período.

### **3.3 Caracterização físico-hídrica do solo**

#### **3.3.1 Classe textural**

Para a determinação da textura por meio do método da pipeta foram retiradas amostras (cerca de 0,5 kg) nas profundidades de 0,0 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m.

#### **3.3.2 Densidade do solo (ps)**

Foram coletadas amostras de solo com três repetições das camadas referentes às profundidades de 0,0 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m, com estrutura indeformada em anéis volumétricos de volume determinado (método do cilindro de Uhland).

As amostras foram secadas em estufa a 105-110 °C até peso constante. Finalmente calculou-se a densidade do solo a partir da relação entre a massa de sólidos e o volume total da amostra mediante a Equação 4:

$$\rho_s = \frac{ms}{V} \quad (4)$$

Em que:

$\rho_s$  - Densidade do solo ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$ms$  - Massa de sólidos (kg);

$V$  - Volume total ( $\text{m}^3$ ).

### 3.3.3 Densidade de partículas ( $\rho_p$ )

Para a determinação da densidade de partículas do solo nas três camadas estudadas (0,0 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m) utilizou-se o método do Picnômetro, realizado no Laboratório de Mecânica dos Solos no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Lavras.

### 3.3.4 Porosidade

A porosidade total e as porcentagens de microporos e macroporos foram determinadas pelas Equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$\alpha = \left( 1 - \frac{\rho_s}{\rho_p} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que:

$\alpha$  - Porosidade total ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ );

$\rho_s$  - Densidade do solo ( $\text{kg m}^{-3}$ );

$\rho_p$  - Densidade de partículas ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

$$\text{microporos}(\%) = (U_{0,06\text{atm}} - P_s) \times \rho, \quad (6)$$

Em que:

$P_s$  - Peso seco da amostra (kg)

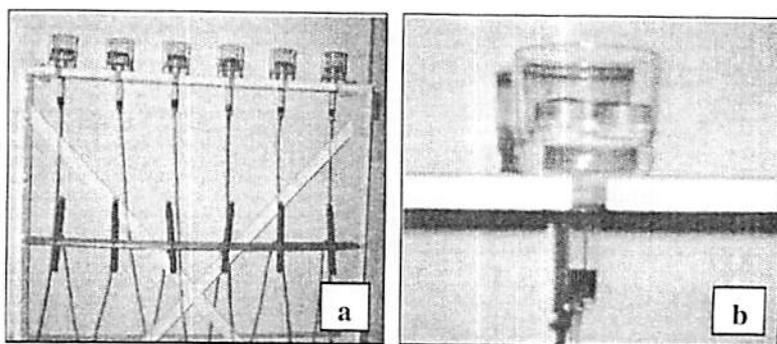
$U_{0,06\text{atm}}$  - umidade com base em peso submetida à tensão de 0,06 atm.

$$\text{macroporos}(\%) = \alpha - \text{microporos} \quad (7)$$

### 3.3.5 Retenção de água no solo

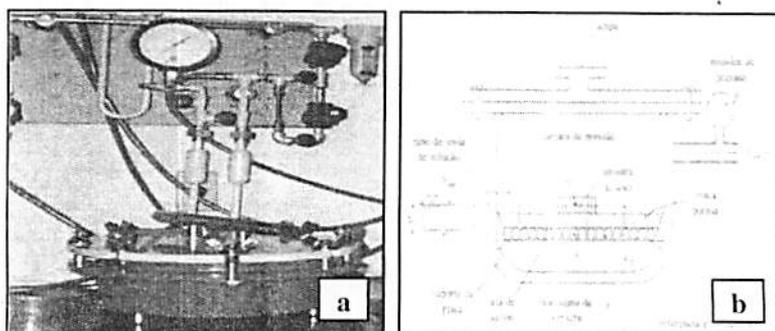
As curvas de retenção de água no solo foram elaboradas por secamento para três profundidades: 0,0 - 0,20; 0,20 - 0,40 e 0,40 - 0,60 m. Em cada intervalo de profundidade foram coletadas amostras de solos indeformadas para baixas tensões, variando de 2 a 10 kPa, e amostras de solos deformadas para tensões mais elevadas, variando de 33 a 1.500 kPa. Para cada ponto da curva foram feitas três repetições.

Para a obtenção dos pontos da curva de retenção nas tensões de 2, 6, 8 e 10 kPa, foi utilizado o funil de placa porosa de cerâmica ou funil de Haines (Figuras 4a e 4b).



**FIGURA 4** Determinação dos pontos da curva de retenção para baixa tensão a partir do Funil de Haines com placa porosa de cerâmica, bancada com seis funis (a) e detalhe individual(b).

Para a obtenção dos pontos de elevadas tensões (33 a 1.500 kPa) foi utilizada a câmara de Richards, chamada vulgarmente de panela de pressão. Consiste em uma câmara construída para suportar altas pressões com uma placa porosa de cerâmica (Figuras 5a e 5b). As placas de cerâmica, tanto do funil como da câmara de Richards, são diferenciadas pelo tamanho de seus poros, fator que define a tensão a que pode ser submetida a amostra.



**FIGURA 5** Câmara de Richards utilizada na determinação dos pontos da curva de retenção para tensões maiores (a) e desenho esquemático de seu funcionamento utilizado para pressões menores(b).

As amostras foram saturadas por um período de 48 h. Em seguida, determinou-se a massa úmida colocando-as no funil de Haines ou na câmara de Richards. Nestes equipamentos, as amostras com certo grau de água foram submetidas a uma dada pressão; desta forma, houve a extração de água dos poros que retêm a água capilar sob esta tensão. O equilíbrio entre a tensão no solo e a pressão aplicada, pôde ser evidenciado ao término da drenagem, quando se observou a ausência de gotejamento do funil ou panela de pressão. Atingido o equilíbrio, determinou-se a massa do solo em estufa para obtenção do teor de água a este potencial mátrico. Logo após, a amostra foi submetida a pressões crescentes e determinou-se a respectiva umidade volumétrica.

Com os valores médios de potencial mátrico e de umidade volumétrica das três amostras, foram elaboradas as três curvas de retenção para as profundidades em estudo, tanto para a área da cultura antiga quanto para a área da cultura recepada, utilizando-se o programa computacional SWRC desenvolvido por DOURADO NETO et al. (1990). Estes valores foram ajustados ao modelo de van Genuchten (1980), dado pela Equação 8:

$$\theta [\Psi_{mat}] = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[ 1 + (\alpha \times \Psi_{mat})^n \right]^m} \quad (8)$$

Em que:

$\theta$  - Umidade atual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_r$  - Umidade residual que representa o valor de umidade para o ponto de murcha permanente ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_s$  - Umidade de saturação ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\Psi_{mat}$  - Potencial mátrico (kPa);

$\alpha$ ,  $n$  e  $m$  - Parâmetros do solo.

### 3.3.6 Infiltração de água no solo

Para a determinação da infiltração de água no solo utilizou-se o simulador de chuvas, constituído de dois microaspersores inseridos em um segmento de tubo, acoplado a uma estrutura metálica rodeada por uma cortina plástica, a fim de evitar deriva pelo vento. À montante dos microaspersores foi instalado um manômetro metálico tipo Bourdon para monitorar, com auxílio do registro de globo, a pressão de serviço dos microaspersores. A área de teste (1,0 m<sup>2</sup>) foi circundada por uma chapa de aço zincada, cravada a 0,15 m de profundidade no solo e conectada a uma mangueira de polietileno, e para conduzir a água escoada cujo volume foi quantificado ao longo do tempo por medições diretas. Na realização do teste, fixou-se a pressão de serviço em 0,5 kg cm<sup>-2</sup>, e a partir de três repetições foi estabelecida a vazão média (3,00 L min<sup>-1</sup>) aplicada na área com auxílio de uma chapa de aço zincado de 1,0 m<sup>2</sup>, que recobria toda a área de teste. Assim, depois de fixada a lâmina de água retirou-se a chapa de alumínio, começando a contagem do tempo até o início do escoamento superficial (1,0 minuto), registrando esse tempo e mantendo constante o volume coletado de 3,0 litros nos 40 minutos iniciais e passando para um volume de 5,0 litros até o término do teste, perfazendo um total de aproximadamente 78 minutos de teste. O final do teste foi caracterizado pelo tempo em que o volume escoado tornou-se fixo.

Os valores de lâmina infiltrada acumulada em função do tempo acumulado foram ajustados para a equação de Kostiakov, expressa por:

$$I_{pot} = C \times T^n \quad (9)$$

Em que:

$I_{pot}$  - Infiltração acumulada potencial (L);

$C$  - Parâmetro do solo, dependente da condição inicial de umidade ( $L T^{-n}$ );

$T$  - Tempo de oportunidade para infiltração (T);

$n$  - Parâmetro do solo, adimensional e constante, podendo variar entre 0 e 1.

### 3.3.7 Condutividade hidráulica do solo não saturado ( $K_{(\theta)}$ )

A condutividade hidráulica do solo não saturado foi determinada com base nos métodos de Mualem (1976) e pelo método do permeâmetro de Guelph.

A adoção dessa metodologia deve-se ao fato de outras metodologias para determinação da condutividade hidráulica em campo possuírem como limite inferior a capacidade de campo. Na prática, porém, geralmente trabalha-se com valores de teor de água inferiores à capacidade de campo.

Para estimar a condutividade hidráulica não saturada pela metodologia de MUALEM (1976), determinou-se a condutividade hidráulica saturada no campo pelo método do permeâmetro de Guelph, obtendo-se a média geométrica para as três camadas estudadas.

A determinação de  $K_0$  foi realizada em uma profundidade de 0,15 a 0,75 m abaixo da superfície do solo, empregando um mínimo de meia hora a um máximo de duas horas de teste, de acordo com o tipo de solo, e usando somente 2,5 litros água.

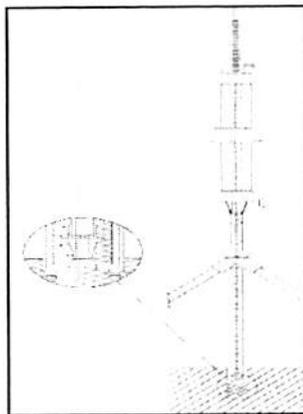
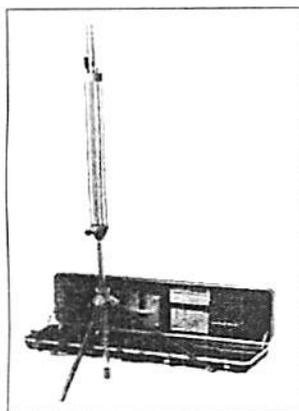


FIGURA 6 Permeâmetro de Guelph.

Para a determinação da expressão da  $K_{r,\theta}$  foi utilizada a seguinte equação:

$$K_{\theta} = K_0 \times \Theta^{0.5} \times \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{m}} \right)^m \right]^2 \quad (10)$$

Em que:

$K_0$  - Condutividade hidráulica pelo permeâmetro de Guelph ( $\text{cm s}^{-1}$ );

$\Theta$  - Grau de saturação;

$m$  - Fator de ajuste (parâmetro do solo).

A equação para determinação de  $\Theta$  é:

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (11)$$

Em que:

$\theta$  - Umidade volumétrica;

$\theta_r$  - Umidade residual;

$\theta_s$  - Umidade de saturação.

### 3.4 Balanço hídrico do solo

O balanço hídrico do solo foi determinado a partir da equação da conservação de massa (12).

$$\int_{t_i}^{t_f} (p + i + -et \pm d \pm r) dt = \int_{t_i}^{t_f} \int_b^z \frac{\partial \theta}{\partial t} dZ dt \quad (12)$$

Simplificando a Equação 12 e integrando-a ao tempo e à profundidade, obtém-se.

$$P + I - ET_c \pm D \pm R = \pm \Delta A \quad (13)$$

Em que:

*P* - Precipitação pluviométrica efetiva (mm);

*I* - Irrigação (mm);

*ET<sub>c</sub>* - Evapotranspiração da cultura (mm);

*R* - Deflúvio superficial (mm);

*D* - Drenagem Interna (mm);

$\Delta A$  - Variação do armazenamento (mm).

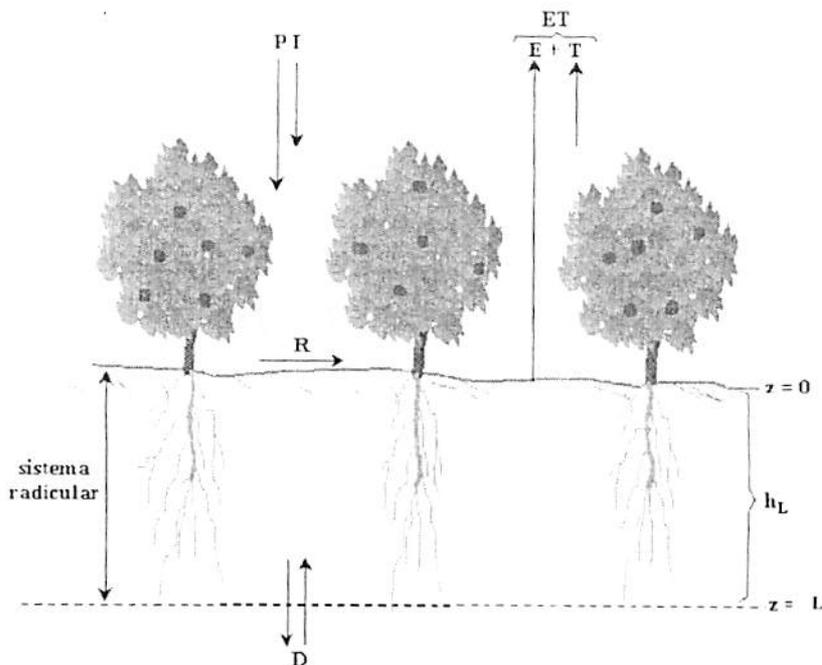


FIGURA 7 Ilustração esquemática dos componentes do balanço hídrico sob condições de campo.

### 3.4.1 Precipitação pluvial e irrigação

Os dados climáticos requeridos para o balanço hídrico, foram obtidos junto a uma mini-estação meteorológica, instalada a 2 m de altura, dentro da área experimental.

### 3.4.2 Deflúvio superficial ou “run – off” (R)

Para o cálculo do deflúvio superficial, confrontou-se a lâmina precipitada (mini-estação meteorológica) com a lâmina infiltrada potencial, fornecida pela equação potencial de Kostiakov (Equação 9), que foi estimada com dados obtidos pelo método do simulador de chuvas.

### 3.4.3 Drenagem interna e ascensão capilar

A saída (drenagem interna) e a entrada de água (ascensão capilar) na parte inferior do volume de controle foi obtida com o uso da Equação 14, proposta por REICHARDT (1985):

$$D = \int_i^f q_z \times dt \quad (14)$$

Sendo  $q_z$  a densidade de fluxo de água no solo ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), que pode ser positiva se for decorrente de ascensão capilar e negativa se originada pela drenagem interna. Este componente na profundidade e tempo considerados foi estimado utilizando-se a equação de Darcy-Buckingham, modificada por Richards (1928).

$$q_z = -K(\theta) \times \frac{\partial H}{\partial z} \quad (15)$$

Em que:

$K(\theta)$  - Condutividade hidráulica como função da umidade do solo;

$\partial H/\partial z$  - Gradiente de potencial total na profundidade considerada;

### 3.4.4 Variação de armazenamento

O teor de água no solo foi determinado utilizando-se os dados das leituras dos tensímetros (profundidade de 0,10; 0,30 e 0,50 m) associadas à curva característica de retenção de água no solo, para o monitoramento e controle de teor de água no solo utilizou-se o método gravimétrico. A

componente variação de armazenamento, considerando 0,40 m à profundidade efetiva do sistema radicular para o cafeeiro, foi calculada a partir da Equação 16:

$$\Delta A = (\theta_2 - \theta_1) \times Z \quad (16)$$

Em que:

$\Delta A$  - Variação de armazenamento no intervalo de tempo considerado (mm);

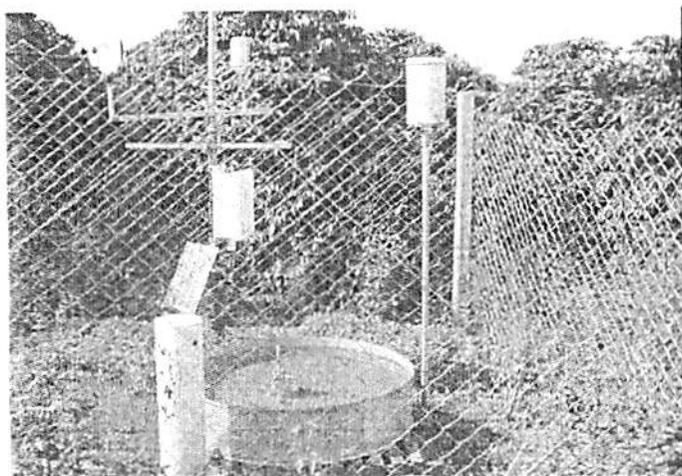
$\theta_2$  - Umidade média no tempo final ( $m^3 m^{-3}$ );

$\theta_1$  - Umidade média no tempo inicial ( $m^3 m^{-3}$ );

$z$  - Profundidade considerada para o balanço (mm).

### 3.5 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )

A evapotranspiração de referência foi determinada por dois métodos distintos, o do Tanque Classe "A", existente no local do experimento, e o de Penmam – Monteith (FAO), fornecido diretamente por meio da mini-estação meteorológica (Figura 8), instalada no local do experimento. Utilizaram-se os dados obtidos por Penmam – Monteith (FAO).



**FIGURA 8** Mini-estação meteorológica e Tanque Classe “A”, Lavras - MG, 2004

### **3.6 Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ )**

A evapotranspiração da cultura foi obtida realizando-se o balanço hídrico em um volume de controle com profundidade de 0,40 m, estabelecido para a cultura do café.

A  $ET_c$  foi obtida através da Equação 13, na qual todos os componentes, exceto a evapotranspiração da cultura, são conhecidos.

### **3.7 Determinação do coeficiente de cultura ( $K_c$ )**

Considerando os valores da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) e da cultura ( $ET_c$ ), determinou-se o coeficiente da cultura ( $K_c$ ), de acordo com a sua definição, pela Equação 17:

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad (17)$$

Em que:

$K_c$  - coeficiente de cultura;

$ET_c$  - evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>);

$ET_0$  - evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização físico-hídrica do solo

#### 4.1.1 Classe textural

Com base nos resultados obtidos e analisando a distribuição das frações granulométricas, verifica-se que a fração argila predomina sobre as frações silte e areia tanto para o solo da área da cultura antiga quanto para a área da cultura recepada (Tabela 9). Segundo EMBRAPA (1999), os resultados estão de acordo com a definição de latossolos, ou seja, solos com textura argilosa ou muito argilosa.

**TABELA 9** Resultado da análise granulométrica para o Latossolo Vermelho Distrófico Típico. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	Área da cultura antiga			Área da cultura recepada		
	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )	Areia (g kg <sup>-1</sup> )	Silte (g kg <sup>-1</sup> )	Argila (g kg <sup>-1</sup> )
0,0 – 0,20	371,8	239,2	389,0	296,6	296,5	406,9
0,20 – 0,40	330,9	204,0	465,1	353,3	220,8	425,9
0,40 – 0,60	330,8	176,5	492,7	377,1	195,5	427,4

OLIVEIRA (2003), trabalhando na área da cultura antiga, encontrou resultados semelhantes, com a predominância da fração argila sobre as frações silte e areia.

Segundo PRADO (2003), a classificação dos Latossolos apresenta texturas basicamente caracterizadas pela presença de argila, podendo ser enquadrados como argilo-arenosos, argilosos ou muito argilosos. Inserindo no

triângulo textural (LEMOS & SANTOS, 1996) os resultados atuais e os obtidos por OLIVEIRA (2003), constatou-se que o solo estudado apresentou uma textura franco – argiloso para as camadas de 0,0 – 0,20 m e muito argilosa para as camadas de 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m.

#### 4.1.2 Densidade do solo ( $\rho_s$ )

Na Tabela 10 estão reunidos os resultados de densidade do solo para as áreas da cultura antiga e recepada, respectivamente. Os valores variaram de 1.210 kg m<sup>-3</sup> para a camada superficial a 1.030 kg m<sup>-3</sup> para a camada de 0,40 – 0,60 m, na área da cultura antiga, e de 1.200 kg m<sup>-3</sup> a 1.050 kg m<sup>-3</sup> na área da cultura recepada, como foi observado por OLIVEIRA (2003), na área da cultura antiga, em que a densidade do solo variou entre 1.149 kg m<sup>-3</sup> a 995 kg m<sup>-3</sup>.

**TABELA 10** Valores médios de densidade do solo ( $\rho_s$ ) do Latossolo Vermelho Distrófico Típico. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	$\rho_s$ média (kg m <sup>-3</sup> )	
	Área da cultura antiga	Área da cultura recepada
0,0 – 0,20	1.210	1.200
0,20 – 0,40	1.070	1.180
0,40 – 0,60	1.030	1.050

Em função da maior pressão exercida das camadas superiores sobre as inferiores, existe uma tendência de compactação crescente, que vai das camadas superficiais para as camadas mais profundas do perfil (KIEHL, 1979). PREVEDELLO (1996), avaliando diversos tipos de solos e analisando a superfície dos mesmos, constatou que a densidade do solo variou, para solos

argilosos, de 1.000 a 1.400 kg m<sup>-3</sup>. Os dados observados no solo estudado apresentaram-se dentro deste intervalo. Segundo ARSHAD et al. (1996), valores de densidade do solo acima de 1.400 kg m<sup>-3</sup> restringem o crescimento radicular em solo argiloso.

Devido ao manejo do solo, e principalmente pelo fato de o cafeeiro ser uma cultura perene, e neste caso cultivada por um longo período de tempo, por 19 anos, ocorreu um processo de acomodação nas camadas mais profundas, as quais são menos trabalhadas, explicando o comportamento do solo em estudo. De modo geral, pode-se afirmar que quanto maior a densidade do solo, mais compactado ele será, menor porosidade total terá e menor será a sua estruturação; portanto, as plantas terão maiores restrições quanto ao seu crescimento e desenvolvimento radicular.

#### **4.1.3 Densidade de partículas (pp)**

Os resultados de densidade de partículas, obtidos para as três camadas estudadas, referente às duas áreas do experimento (Tabela 11), estão situadas um pouco abaixo do limite inferior da faixa de valores citados como referência por FERREIRA (2003), entre 2.600 a 2.700 kg m<sup>-3</sup>. O mesmo foi observado por OLIVEIRA (2003) em trabalho realizado na área da cultura antiga, onde os valores de densidade de partículas variaram de 2.520 a 2.580 kg m<sup>-3</sup>.

Este fato pode ser devido à influência do longo período de cultivo do terreno, além do manejo do solo, que pode modificar o valor da densidade de partículas ao longo do tempo, principalmente quando o manejo do solo proporcionar modificações significativas no conteúdo de matéria orgânica (KIEHL, 1979).

**TABELA 11** Valores médios da densidade de partículas ( $\rho_p$ ) do Latossolo Vermelho Distrófico Típico. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	$\rho_p$ média ( $\text{kg m}^{-3}$ )	
	Área da cultura antiga	Área da cultura recepada
0,0 – 0,20	2.560	2.540
0,20 – 0,40	2.580	2.550
0,40 – 0,60	2.590	2.590

#### 4.1.4 Porosidade

Os valores de porosidade total variaram de 0,526 a 0,601  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  e de 0,528 a 0,596  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para a área da cultura antiga e recepada, respectivamente (Tabelas 12 e 13), estando dentro da faixa limite proposta por PREVEDELLO (1996), a qual varia de 0,350 a 0,500  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para solos arenosos e de 0,400 a 0,650  $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$  para solos argilosos.

Segundo OLIVEIRA (2003), o intervalo de variação da porosidade total do solo é muito amplo, pois o volume de poros depende da estruturação e da composição granulométrica do solo.

**TABELA 12** Valores de porosidade total ( $\alpha$ ), microporos e macroporos para o Latossolo Vermelho Distrófico Típico, correspondente à área da cultura antiga. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	Área da cultura antiga		
	$\alpha$ ( $\text{m m}^{-3}$ )	Microporos ( $\text{m m}^{-3}$ )	Macroporos ( $\text{m m}^{-3}$ )
0,0 – 0,20	0,526	0,370	0,156
0,20 – 0,40	0,587	0,333	0,254
0,40 – 0,60	0,601	0,273	0,328

**TABELA 13** Valores de porosidade total ( $\alpha$ ), microporos e macroporos para Latossolo Vermelho Distrófico Típico, correspondente à área da cultura recepada. Lavras – MG, 2004.

<b>Área da cultura recepada</b>			
<b>Camadas (m)</b>	<b><math>\alpha</math> (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>	<b>Microporos (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>	<b>Macroporos (<math>\text{m}^3 \text{m}^{-3}</math>)</b>
<b>0,0 – 0,20</b>	0,528	0,386	0,142
<b>0,20 – 0,40</b>	0,536	0,332	0,204
<b>0,40 – 0,60</b>	0,596	0,299	0,297

Observa-se que, para as duas áreas em estudo, os valores de porosidade total estiveram inversamente associados àqueles de densidade do solo, ou seja, quanto menor a densidade do solo, maior a porosidade total, estando de acordo com os resultados obtidos por SOUZA et. al. (2003).

A mesma relação foi observada entre o volume de macroporos e a densidade do solo, ou seja, os valores de densidade do solo são inversamente proporcionais aos valores de macroporos, para as duas áreas estudadas, o que também foi verificado por DA ROS et. al (1997). De maneira geral, na camada superficial, observa-se uma menor porosidade total e um aumento da relação microporosidade / macroporosidade. Para as camadas de 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m, resultados semelhantes encontrados por CANALLI & ROLOFF (1997), enquanto para a camada de 0,0 – 0,20 m, para as duas áreas, os valores de densidade do solo são maiores, o que ocasionou uma maior microporosidade, responsável pela retenção de água no solo de acordo com o decréscimo da profundidade (SOUZA et. al., 2003).

#### 4.1.5 Retenção de água no solo

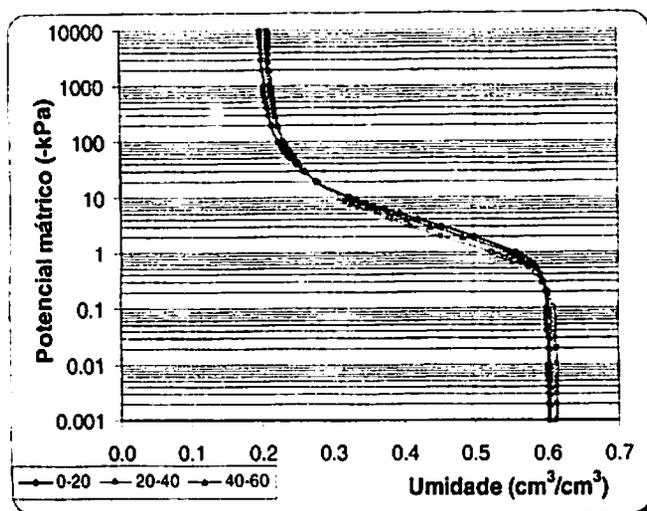
Os valores médios de umidades correspondentes às tensões, obtidos para a construção das curvas de retenção de água no solo (Figuras 9 e 10), nos intervalos de profundidade de 0,0 – 0,20, 0,20 – 0,40 e 0,40 – 0,60 m, para as duas áreas, estão na Tabela 14. Na Tabela 15 encontram-se os valores dos parâmetros de ajustes para a equação de van Genuchten. Observa-se, pelas Figuras 9 e 10, um bom ajuste dos dados experimentais ao modelo de Mualem – van Genuchten, obtido pelo programa computacional SWRC, desenvolvido por DOURADO NETO et al. (1990), corroborando com os valores dos coeficientes de determinação das curvas, incluídos na Tabela 15, que foram sempre superiores a 0,97.

**TABELA 14** Valores de umidade volumétrica ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) em função do potencial mátrico (kPa) nas camadas em estudo, para a área antiga e recepada respectivamente. Lavras –MG, 2004

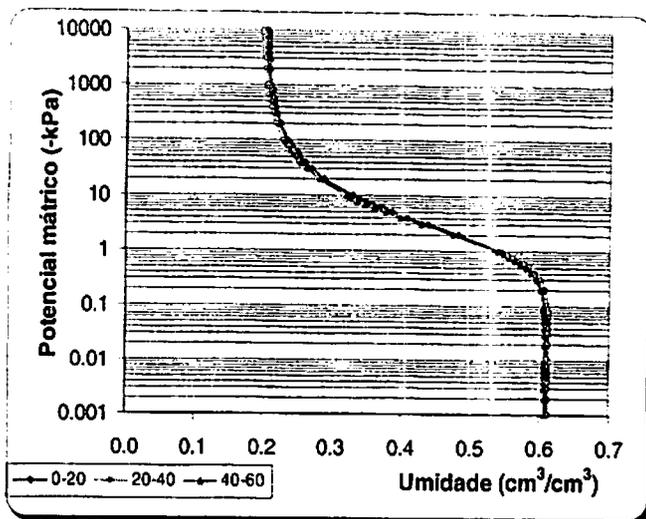
Potencial Matricial  (-kPa)	Área da cultura Antiga			Área da cultura recepada		
	Espessura das camadas (m)					
	0,0-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60	0,0-0,20	0,20-0,40	0,40-0,60
	Umidade ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )					
0	0,602	0,614	0,605	0,610	0,615	0,609
2	0,481	0,447	0,461	0,472	0,470	0,458
6	0,415	0,384	0,413	0,388	0,378	0,389
8	0,344	0,311	0,332	0,352	0,327	0,334
10	0,305	0,297	0,310	0,321	0,312	0,322
33	0,242	0,235	0,240	0,260	0,257	0,243
100	0,229	0,266	0,221	0,234	0,228	0,229
500	0,200	0,206	0,210	0,208	0,203	0,207
1500	0,198	0,204	0,208	0,198	0,196	0,203

**TABELA 15** Parâmetros de ajuste para a equação de van Genuchten (1980), para as duas áreas estudadas. Lavras –MG, 2004.

Parâmetros	Área da cultura antiga			Área da cultura recepada		
	Espessura das camadas (cm)					
	0 - 20	20 - 40	40 - 60	0 - 20	20 - 40	40 - 60
<i>n</i>	1,692	1,588	1,680	1,568	1,602	1,609
<i>m</i>	0,409	0,370	0,405	0,362	0,376	0,378
$\alpha$	0,509	0,956	0,621	0,723	0,754	0,749
$\theta_r$	0,198	0,204	0,208	0,198	0,196	0,203
$\theta_s$	0,602	0,614	0,605	0,610	0,615	0,609
$r^2$	0,983	0,975	0,975	0,996	0,996	0,990



**FIGURA 9** Curvas características das três camadas estudadas, referentes à área da cultura antiga, do Latossolo Vermelho Distroférico, ajustadas pelo software SWRC (Soil Water Retention Curve, 1995). Lavras – MG, 2004.



**FIGURA 10** Curvas características das três camadas estudadas, referentes à área da cultura rejeitada, do Latossolo Vermelho Distrófico Típico, ajustadas pelo software SWRC (Soil Water Retention Curve, 1995). Lavras –MG, 2004.

As equações de van Genuchten ajustadas, tanto para a área da cultura antiga quanto para a área da cultura rejeitada, nas três camadas estudadas, estão apresentadas nas Tabelas 16 e 17.

**TABELA 16** Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten para o Latossolo Vermelho Distrófico Típico, correspondente à área da cultura antiga. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	Equações Ajustadas
0,0 – 0,20	$\theta = 0,198 + \frac{0,404}{\left[1 + (0,5095 \times \Psi_{mat})^{1,6925}\right]^{0,4092}}$
0,20 – 0,40	$\theta = 0,204 + \frac{0,410}{\left[1 + (0,9565 \times \Psi_{mat})^{1,5885}\right]^{0,3705}}$
0,40 – 0,60	$\theta = 0,208 + \frac{0,397}{\left[1 + (0,6212 \times \Psi_{mat})^{1,6807}\right]^{0,4050}}$

**TABELA 17** Parâmetros de ajuste da equação de van Genuchten para o Latossolo Vermelho Distrófico Típico, correspondente à área da cultura recepada. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	Equações Ajustadas
0,0 – 0,20	$\theta = 0,198 + \frac{0,412}{\left[1 + (0,7238 \times \Psi_{mat})^{1,5682}\right]^{0,3623}}$
0,20 – 0,40	$\theta = 0,196 + \frac{0,419}{\left[1 + (0,7540 \times \Psi_{mat})^{1,6029}\right]^{0,3761}}$
0,40 – 0,60	$\theta = 0,203 + \frac{0,406}{\left[1 + (0,7493 \times \Psi_{mat})^{1,6091}\right]^{0,3785}}$

#### 4.1.6 Infiltração de água no solo

De acordo com os resultados obtidos em campo por meio do simulador de chuvas, ajustou-se a curva de infiltração acumulada potencial (Figura 11).

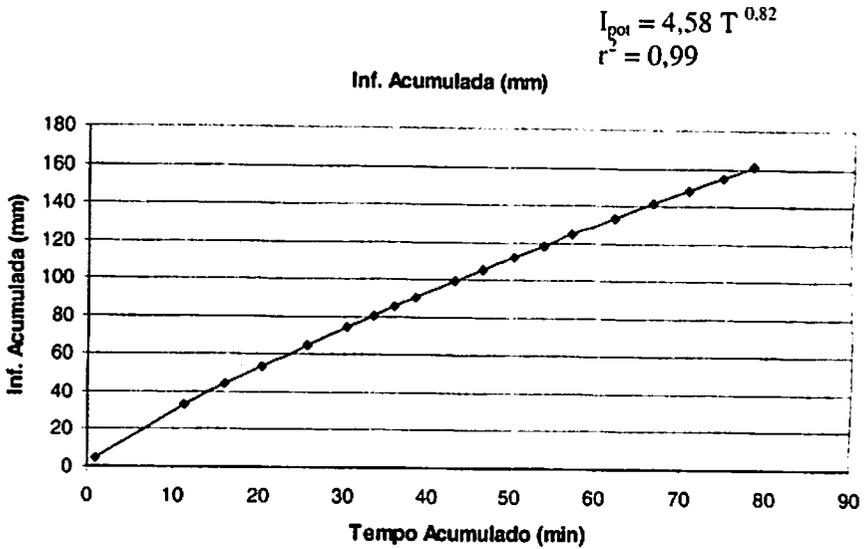


FIGURA 11 Curva de infiltração acumulada potencial em função do tempo.

#### 4.1.7 Condutividade hidráulica

Analisando os resultados obtidos para a condutividade hidráulica (Tabela 18), pôde-se observar que esses valores decresceram das camadas superficiais para as camadas mais profundas, tanto na área da cultura antiga quanto na área da cultura recepada, o que provavelmente se deu em virtude da possibilidade de uma maior quantidade de matéria orgânica na camada superficial.

**TABELA 18** Resultados médios, da condutividade hidráulica do solo saturado, obtidos para as três camadas estudadas, por meio do permeâmetro de Guelph. Lavras – MG, 2004

Camadas (m)	Área da cultura antiga		Área da cultura recepada	
	$K_0$ (cm h <sup>-1</sup> )	$K_0$ (m dia <sup>-1</sup> )	$K_0$ (cm h <sup>-1</sup> )	$K_0$ (m dia <sup>-1</sup> )
0,0 - 0,20	4,89	1,17	6,02	1,44
0,20 - 0,40	2,82	0,67	3,08	0,70
0,40 - 0,60	1,85	0,44	0,75	0,18

#### 4.1.8 Condutividade hidráulica do solo não saturado ( $K_{(\theta)}$ ) obtido pelo modelo de Mualem – van Genuchten

As equações de  $K_{(\theta)}$ , resultantes da aplicação da Equação 10 estão representadas nas Tabelas 19 e 20, para as três camadas estudadas, nas áreas antiga e recepada, respectivamente.

**TABELA 19** Equações de  $K_{(\theta)}$  obtidas pela metodologia de Mualem – van Genuchten (1976), correspondente à área da cultura antiga. Lavras – MG

Camadas (m)	Equações Ajustadas
0,0 – 0,20	$K_{(\theta)} = 4,894 \times \Theta^{0,5} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{0,4092}} \right)^{0,4092} \right]^2$
0,20 – 0,40	$K_{(\theta)} = 2,819 \times \Theta^{0,5} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{0,3705}} \right)^{0,3705} \right]^2$
0,40 – 0,60	$K_{(\theta)} = 1,851 \times \Theta^{0,5} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{0,4050}} \right)^{0,4050} \right]^2$

**TABELA 20** Equações de  $K_{(\theta)}$  obtidas pela metodologia de Mualem - van Genuchten (1976), correspondente à área da cultura recepada. Lavras - MG

Camadas (m)	Equações Ajustadas
0,0 - 0,20	$K_{(\theta)} = 6,021 \times \Theta^{0.5} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{0.3623}} \right)^{0.3623} \right]^2$
0,20 - 0,40	$K_{(\theta)} = 3,084 \times \Theta^{0.5} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{0.3761}} \right)^{0.3761} \right]^2$
0,40 - 0,60	$K_{(\theta)} = 0,752 \times \Theta^{0.5} \left[ 1 - \left( 1 - \Theta^{\frac{1}{0.3785}} \right)^{0.3785} \right]^2$

## 4.2 Balanço hídrico do solo

### 4.2.1 Precipitação pluvial e irrigação

As lâminas de água aplicada podem ser visualizadas nas Figura 12 e 13, para a área da cultura antiga e recepada, respectivamente.

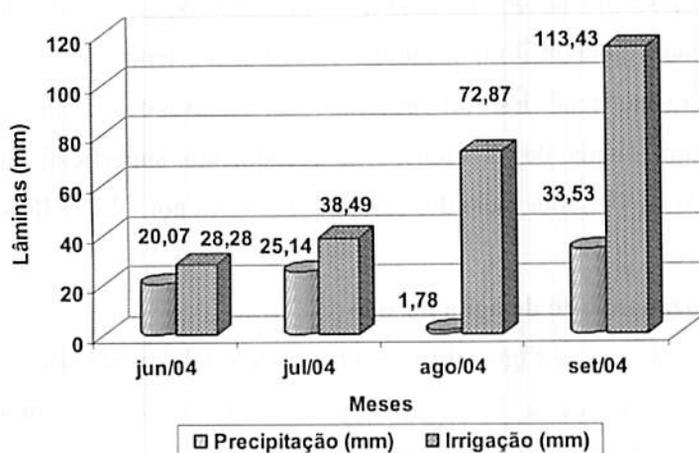


FIGURA 12 Precipitação pluvial mensal e lâminas de irrigação aplicadas referentes à área da cultura antiga, Lavras – MG, 2004.

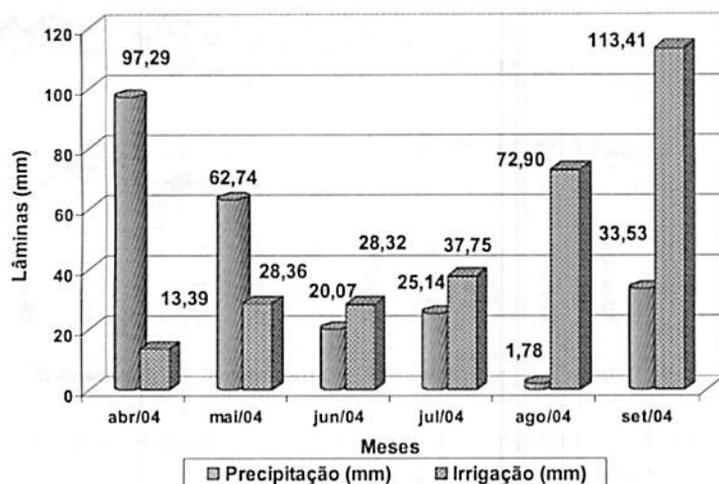


FIGURA 13 Precipitação pluvial mensal e lâminas de irrigação aplicadas referentes à área da cultura recepada, Lavras – MG, 2004.

#### 4.2.2 Deflúvio superficial ou “run – off” (R)

Os resultados obtidos para os parâmetros da equação de Kostiakov (9) permitem reescrevê-la como  $I_{pot} = 4,58 \times T^{0,82}$  ( $I_{pot}$  em mm e  $T$  em min). Confrontando a lâmina acumulada potencial no tempo de duração de cada chuva e a lâmina precipitada, observou-se que em todos os eventos de chuva o solo tinha potencial para infiltrar a lâmina escoada, não tendo ocorrido, portanto, escoamento superficial. Isso foi verificado nas observações locais, as quais não demonstraram sinais de ocorrência de escoamento superficial. Este fato é comprovado também por meio dos resultados obtidos por OLIVEIRA (2003).

#### 4.2.3 Armazenamento de água no solo

Observa-se, na Figura 14, o comportamento do armazenamento de água no solo para a camada de 0,0 – 0,40 m, para os diferentes tratamentos durante o período analisado na área da cultura antiga.

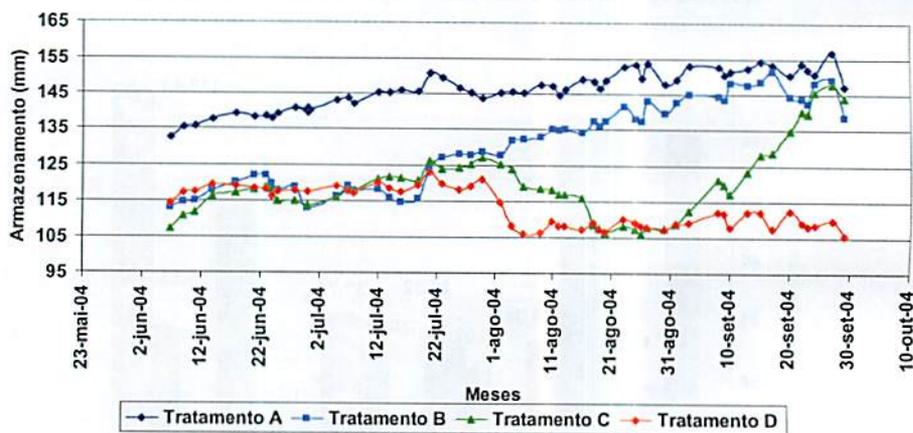
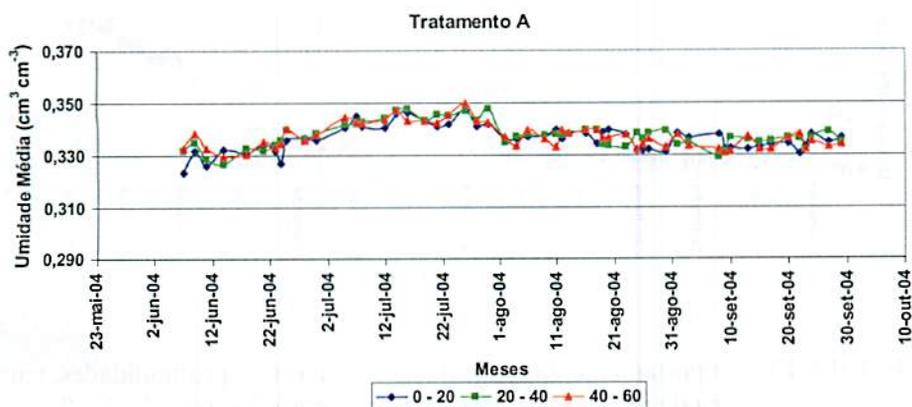


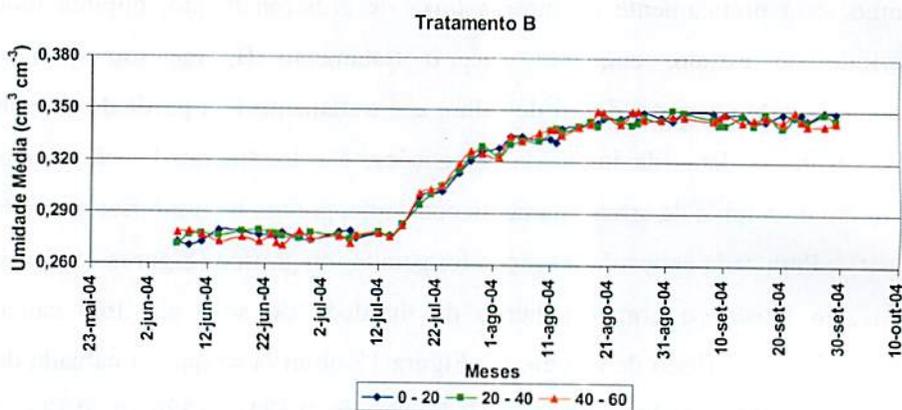
FIGURA 14 Armazenamento de água nas diferentes épocas de irrigação, para área da cultura antiga. Lavras – MG.

Verifica-se que o tratamento A, que iniciou suas irrigações no dia 1º de junho, está praticamente na mesma faixa de armazenamento, durante todo o período de estudo, enquanto que, o tratamento B, mostrou o mesmo comportamento a partir de 15 de julho, e o tratamento C a partir de setembro, justamente as datas de início das irrigações, e o tratamento D, não irrigado, mantém uma faixa de armazenamento constante, porém, bem inferior aos outros.

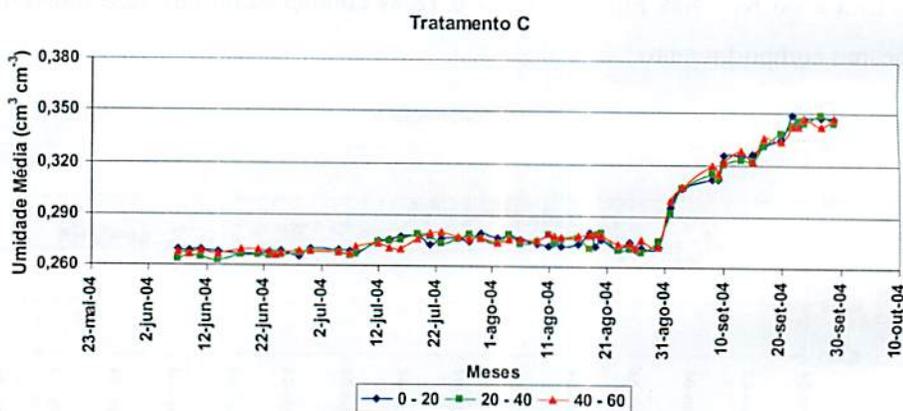
Para cada época de irrigação foi gerado um gráfico (Figuras 15, 16, 17 e 18) que mostra o comportamento da umidade do solo nas três camadas analisadas no período de estudo. Na Figura 15 observa-se que na camada de 0-20 os menores valores de umidade foram 0,324; 0,326 e 0,327 que correspondem aos potenciais de 10 kPa; 9 kPa e 8 kPa respectivamente, que caracterizam elevados potenciais matriciais da água do solo, que são necessários para garantir condições excelentes de suprimento de água pelo solo às plantas, o que se requer para estudos de estimativas de evapotranspiração máxima da cultura e do  $K_c$ . Nas Figuras 16, 17 e 18 as condições de umidade mostram o mesmo comportamento.



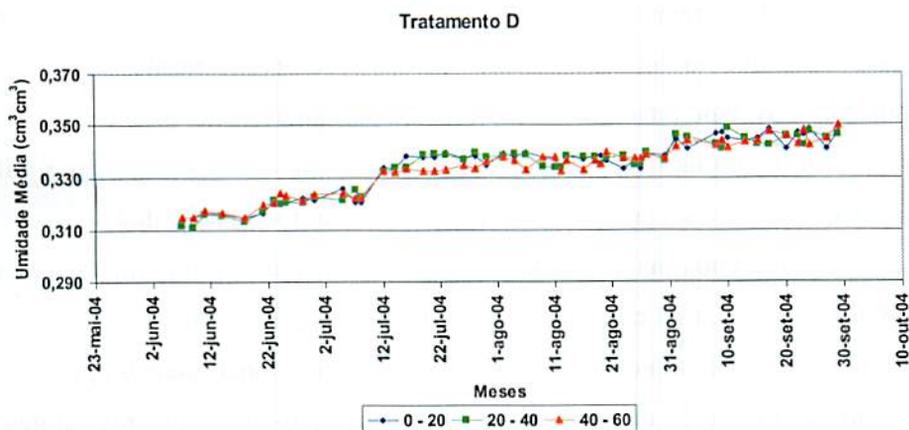
**FIGURA 15** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, para a época de irrigação de 1º de junho a 30 de setembro. Lavras – MG, 2004.



**FIGURA 16** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, para a época de irrigação de 15 de julho a 30 de setembro. Lavras – MG, 2004.

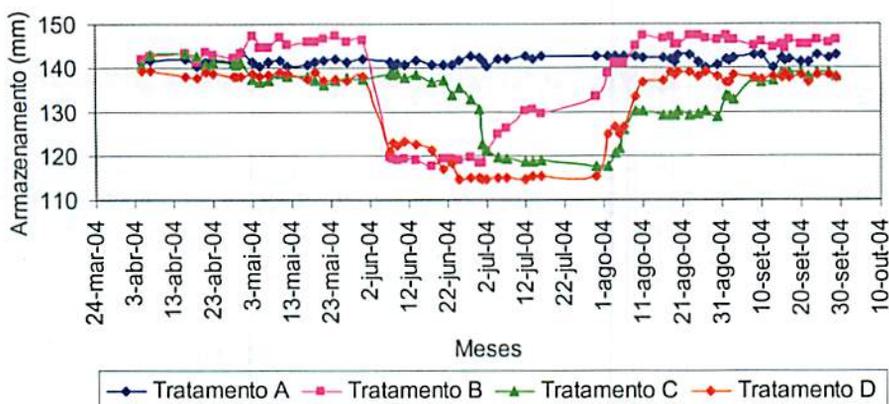


**FIGURA 17** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, para a época de irrigação de 1º a 30 de setembro. Lavras – MG, 2004.



**FIGURA 18** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, no tratamento não irrigado. Lavras – MG, 2004.

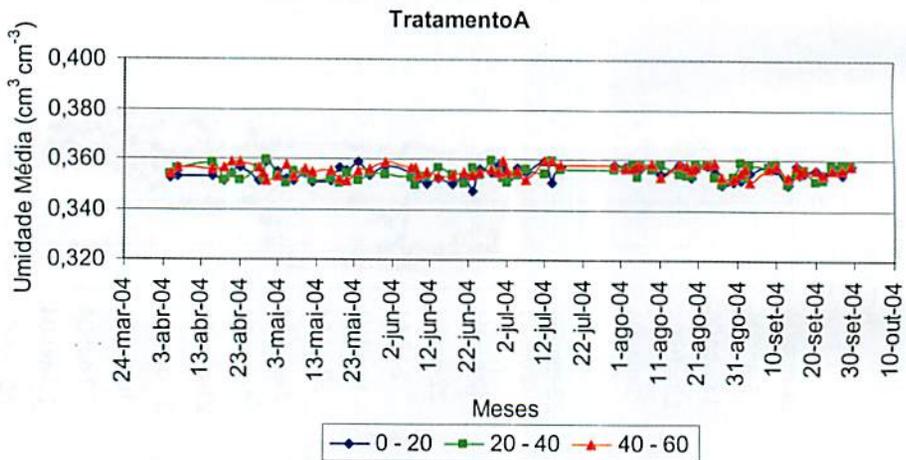
Na área da cultura recepada o armazenamento de água no solo para a camada de 0,0 – 0,40 m está representada na Figura 19.



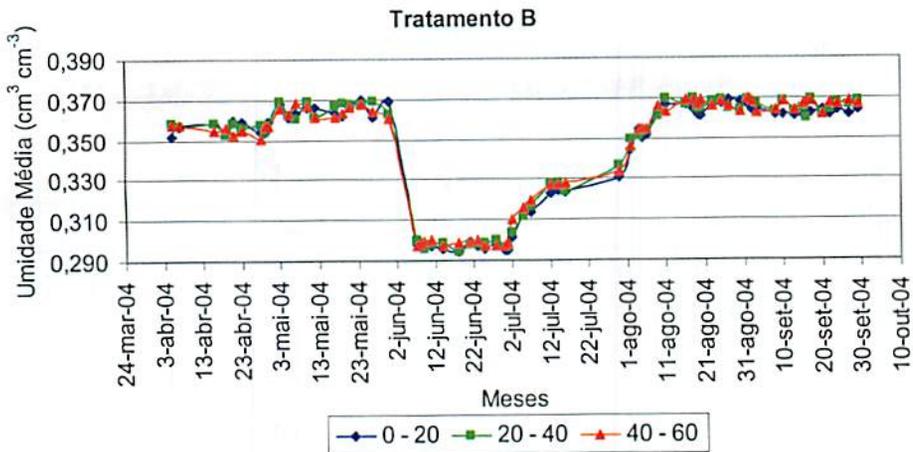
**FIGURA 19** Armazenamento de água nos tratamentos para a área da cultura recepada. Lavras – MG, 2004.

Como o tratamento A foi irrigado durante todo o período de estudo, observa-se que o armazenamento permaneceu praticamente constante. O tratamento B tem uma queda em seu armazenamento no mês de junho, o tratamento C, no mês de julho; e o tratamento D, nos meses de junho e julho, justamente nos meses em que esses tratamentos não foram irrigados.

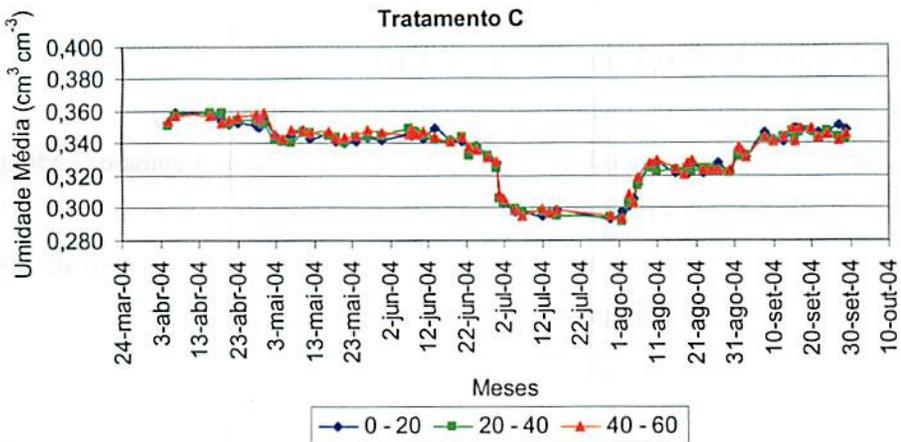
Assim como na a área da cultura antiga, gerou-se um gráfico para cada tratamento da área da cultura recepada (Figuras 20, 21, 22 e 23) que mostra o comportamento da umidade do solo nas três camadas analisadas no período de estudo. Na Figura 20 observa-se que na camada de 0-20 os menores valores de umidade foram 0,350; 0,351 e 0,347 caracterizando elevados potenciais matriciais da água do solo, que são necessários para garantir condições excelentes de suprimento de água pelo solo às plantas, o que se requer para estudos de estimativas de evapotranspiração máxima da cultura e do  $K_c$ . Nas Figuras 21, 22 e 23 as condições de umidade mostram o mesmo comportamento.



**FIGURA 20** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, no tratamento irrigado de abril a setembro. Lavras – MG, 2004.



**FIGURA 21** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, no tratamento com déficit hídrico em junho. Lavras – MG, 2004.



**FIGURA 22** Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, no tratamento com déficit hídrico em julho. Lavras – MG, 2004.

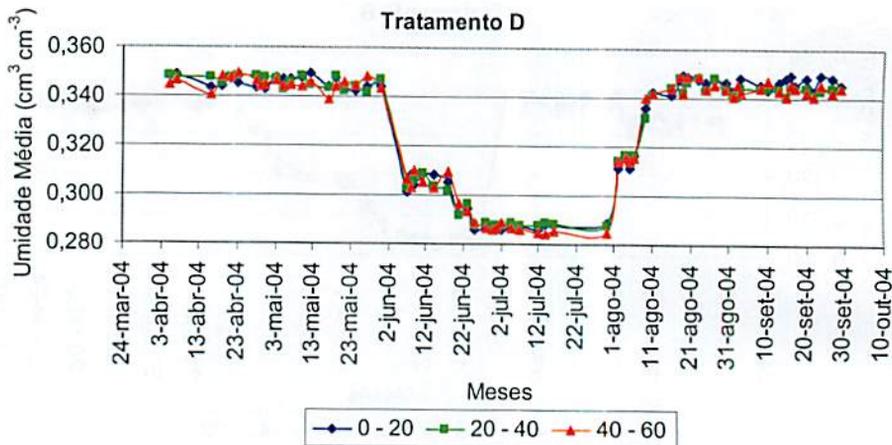
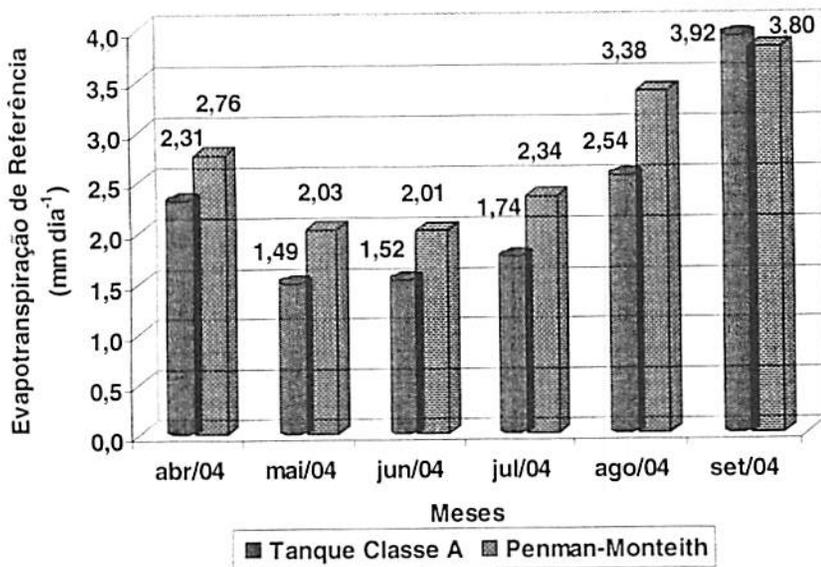


FIGURA 23 Comportamento da umidade do solo nas três profundidades, no tratamento com déficit hídrico em junho e julho. Lavras – MG, 2004.

#### 4.3 Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ )

Os valores da média mensal da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), determinados pelos métodos do Tanque Classe “A” e de Penman – Monteith (FAO), para os meses em que houve irrigação na área da cultura antiga (junho a setembro de 2004) e na área da cultura recepada (abril a setembro de 2004), estão apresentados na Figura 24.



**FIGURA 24** Média mensal da  $ET_0$ , pelos os métodos do Tanque Classe “A” e Penmam-Monteith (FAO), referente aos meses de abril a setembro. Lavras – MG, 2004.

Comparando-se as duas metodologias, observa-se que os resultados foram semelhantes, embora os valores obtidos pelo método de Penman-Monteith (FAO) tenham sido superiores aos valores encontrados pelo método do Tanque Classe “A” (Figura 24). Esses resultados podem ter sido influenciados pela localização dos equipamentos na área experimental, uma vez que estes encontravam entre a cultura adulta e a recepada, ou seja, pode ter ocorrido uma variação no grau de interferência nos resultados em função do ângulo de incidência solar, de acordo com a estação climatológica do ano.

Na Tabela 1A (ANEXO A) são apresentados os valores médios mensais dos parâmetros climáticos de umidade relativa, velocidade do vento, temperatura média e radiação solar.

Confrontando os parâmetros climáticos UR x Temp. Média e Velocidade do Vento x Rad. Solar (Figuras 1B e 2B do ANEXO B), observa-se

que nos meses de abril a julho, os parâmetros analisados possuem valores praticamente constantes, enquanto nos meses de agosto e setembro há uma diferença significativa na umidade relativa e radiação solar.

#### 4.4 Evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ )

A evapotranspiração média da cultura do cafeeiro ( $ET_c$ ), por meio do balanço hídrico, está apresentada nas Tabelas 21 e 22, para a área da cultura antiga e recepada, respectivamente.

**TABELA 21** Média mensal da evapotranspiração da cultura ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), nas diferentes épocas de irrigação. Lavras – MG, 2004

Meses	$ET_c$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) – Cultura Antiga		
	A	B	C
Junho	1,00		
Julho	1,84	1,41	
Agosto	2,45	2,00	
Setembro	4,46	4,51	3,42

O tratamento A iniciou sua irrigação em 1º de junho, o tratamento B, no dia 15 de julho; e o tratamento C, em 1º de setembro, encerrando todas as irrigações no dia 30 de setembro, considerando a área da cultura antiga.

Na área da cultura recepada, todos os tratamentos tiveram suas irrigações iniciadas no dia 1º de abril, diferenciando-se somente nos períodos de déficit hídrico, ou seja, o tratamento A não foi submetido ao déficit hídrico; o tratamento B teve déficit hídrico em junho, o tratamento C, em julho; e o tratamento D, em junho e julho.

**TABELA 22** Média mensal da evapotranspiração ( $\text{mm dia}^{-1}$ ), para cultura recepada. Lavras – MG, 2004

Meses	$ET_c$ ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) – Cultura recepada			
	A	B	C	D
<b>Abril</b>	2,58	2,21	2,53	2,67
<b>Mai</b>	1,79	1,43	2,29	2,11
<b>Junho</b>	1,23		1,93	
<b>Julho</b>	1,39	0,98		
<b>Agosto</b>	2,09	1,55	1,91	1,79
<b>Setembro</b>	4,39	4,12	4,48	4,82

OLIVEIRA (2003), com o trabalho realizado em 2002 na mesma área experimental, observou que na área da cultura recepada todos os valores de  $ET_c$  foram menores em relação à área da cultura antiga, o que já não ocorreu no presente trabalho, em que alguns valores de  $ET_c$  da área da cultura recepada superaram os valores da área da cultura antiga. Isto pode ter sido devido ao fato de que em 2002 a cultura recepada estava com menor porte, com menores números de ramos e, conseqüentemente, com um menor índice de área foliar, enquanto nos estudos realizados em 2004 o cafeeiro recepado já possuía um porte médio, com uma maior quantidade de ramos e, conseqüentemente, um maior índice de área foliar.

#### 4.5 Coeficiente de cultura ( $K_c$ )

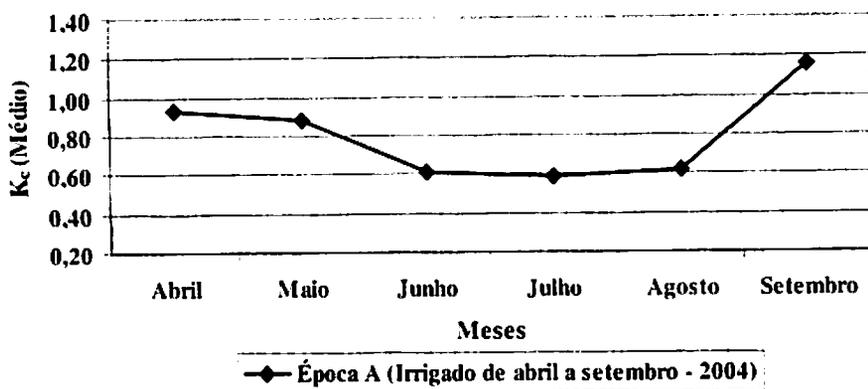
Nas Tabelas 23 e 24 estão apresentados os valores médios do coeficiente de cultura ( $K_c$ ) para as diferentes épocas de irrigação e diferentes períodos de déficit hídrico, respectivamente, utilizando-se os métodos de Penman-Monteith (FAO) e do Tanque Classe “A” para o cálculo da evapotranspiração de referência.

**TABELA 23** Média mensal dos coeficientes de cultura ( $K_c$ ) do cafeeiro da área da cultura antiga, nas diferentes épocas de irrigação, para os métodos de Penman-Monteith – FAO (PM) e do Tanque Classe A (TCA). Lavras – MG, 2004

Meses	$K_c$ - Cultura Antiga					
	Tratamentos					
	A		B		C	
	PM	TCA	PM	TCA	PM	TCA
<b>Junho</b>	0,50	0,66				
<b>Julho</b>	0,79	1,06	0,60	0,81		
<b>Agosto</b>	0,73	0,96	0,60	0,79		
<b>Setembro</b>	1,17	1,14	1,18	1,15	0,89	0,87

**TABELA 24** Média mensal dos coeficientes de cultura ( $K_c$ ) do cafeeiro da área da cultura recepada, nos diferentes períodos de déficit hídrico, para os métodos de Penman-Monteith – FAO (PM) e do Tanque Classe A (TCA). Lavras – MG, 2004

Meses	$K_c$ - Cultura Recepada							
	Tratamentos							
	A		B		C		D	
	PM	TCA	PM	TCA	PM	TCA	PM	TCA
<b>Abril</b>	0,93	1,11	0,80	0,95	0,92	1,09	0,97	1,15
<b>Mai</b>	0,88	1,20	0,71	0,96	1,13	1,53	1,04	1,41
<b>Junho</b>	0,61	0,81			0,96	1,27		
<b>Julho</b>	0,59	0,80	0,42	0,56				
<b>Agosto</b>	0,62	0,82	0,46	0,61	0,57	0,75	0,53	0,70
<b>Setembro</b>	1,16	1,12	1,08	1,05	1,18	1,14	1,27	1,23



**FIGURA 25** Valor do K<sub>c</sub> médio, na área da cultura recepada, para os meses estudados. Lavras – MG, 2004.

**TABELA 25** Ciclo Fenológico do cafeeiro arábica para as condições do Brasil

Meses	Jan/Fev/Mar	Abr/Mai/Jun	Jul/Ago/Set	Out/Nov/Dez
Estações	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Vegetação	Plena	Moderada	Fraca	Plena
Fases	Granação	Maturação	Dormência	Expansão
Fenológicas		Abotoamento		

Transcrito de Camargo (1987)

Entre as diferentes épocas de irrigação (Tabela 23) houve pequena variação nos valores de K<sub>c</sub>, fato também constatado no tocante aos diferentes períodos de déficit hídrico (Tabela 24). Analisando apenas o tratamento irrigado de abril a setembro da área da cultura recepada (Figura 25), e comparando-o com a Tabela 25, verifica-se que ocorreu decréscimo no valor de K<sub>c</sub> do mês de abril para o mês de maio, período que coincide com a fase fenológica de maturação/abotoamento, o qual é caracterizada por moderada atividade vegetativa. Nos meses de junho, julho e agosto ocorreu o menor valor de K<sub>c</sub>, coincidindo com a dormência e atividade vegetativa fraca, e a partir de agosto

houve aumento nos valores de  $K_c$ , que se acentuou em setembro, fato que pode estar associado a uma atividade vegetativa plena e fase fenológica de expansão. Este comportamento é normalmente verificado no mês de outubro, porém acredita-se que esta antecipação seja devida à irrigação. Este fato sinaliza para a necessidade de estudos mais detalhados para a cultura do café em regime de irrigação, visto que a maioria das informações disponíveis é para a condição de cafeeiro em regime de sequeiro.

Fazendo uma análise conjunta dos valores obtidos de  $ET_c$  e  $K_c$  para este estudo, determinado para o cafeeiro na área da cultura antiga, estes aproximaram-se dos valores encontrados por SOUZA et. al. (2001), que estudando o cafeeiro em produção no Norte do Espírito Santo e no Sul da Bahia, obtiveram valores médios de  $ET_c$  entre 2,40 a 2,70 mm dia<sup>-1</sup> e um  $K_c$  de 0,80. Por outro lado, os resultados encontrados na área da cultura recepada foram superiores ao cafeeiro em formação estudado por ANTUNES et. al. (2000), na cidade de Viçosa – MG, que apresentaram valores de  $ET_c$  médio variando de 1,45 mm dia<sup>-1</sup> nos meses mais quentes até 1,05 mm dia<sup>-1</sup> nos meses mais frios e um  $K_c$  variando de 0,35 a 0,40. Esses resultados são comprovados também no trabalho realizados por OLIVEIRA (2003), que obteve, para a área da cultura antiga, valores de  $ET_c$  variando de 2,52 a 3,50 mm dia<sup>-1</sup> e um  $K_c$  variando de 0,76 a 1,50, e para a área da cultura recepada, valores de  $ET_c$  variando de 1,55 a 2,01 mm dia<sup>-1</sup> e de  $K_c$ , de 0,48 a 0,87.

## 5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

O cafeeiro Catuaí (*Coffea arabica L.*) com 19 anos, irrigado de junho a setembro de 2004, apresentou evapotranspiração variando desde um mínimo de 1,0 mm dia<sup>-1</sup> a um máximo de 4,46 mm dia<sup>-1</sup>, e, um coeficiente de cultura variando entre 0,50 a 1,18;

O cafeeiro Catuaí (*Coffea arabica L.*) com quatro anos após a recepa, no período compreendido entre os meses de abril a setembro de 2004, apresentou a evapotranspiração variando desde um mínimo de 0,98 mm dia<sup>-1</sup> no mês de julho, a um máximo de 4,82 mm dia<sup>-1</sup> no mês de setembro, e, um coeficiente de cultura variando de 0,42 a 1,27;

Os resultados obtidos para  $K_c$  mostraram uma boa sintonia com a fenologia da cultura do café, porém há uma sinalização para a necessidade de estudos mais detalhados para o cafeeiro cultivado em regime de irrigação, pois com base nos resultados da área da cultura recepada apresentados pelo tratamento irrigado de abril a setembro, avalia-se que a irrigação pode estar influenciando o ciclo fenológico do cafeeiro, reduzindo o período de dormência e antecipando a fase vegetativa plena e de expansão. Esta é uma possibilidade bem plausível, visto que a maioria das informações disponíveis é para a condição de cafeeiro em regime de sequeiro.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO – Irrigation and Dranaige Paper, 56).

ALLEN, R. G.; SMITH, M.; PERRIER, A.; PEREIRA, L. S. An update for the definition of reference evapotranspiration. **ICID Bulletin**, New Delhi, v. 43, n. 2, p. 93, Dec. 1994.

ANDREATTA, J. A. **Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de dois cultivares de milho (*Zea mays* L.) e a evapotranspiração potencial**. 1990. 94 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

ANTUNES, R. C. B.; MANTOVANI, E. C.; COSTA, L. C.; RENA, A. B.; ALVARENGA, A, de P. **Determinação da evapotranspiração da cultura do cafeeiro em formação**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000. v. 2, p. 810.

ARRUDA, F. B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O. **Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama/SP**. In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000. Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** Brasília: EMBRAPA Café/MINASPLAN, 2000. v. 2, p. 790.

ARSHAD, M. A.; LOWER, B.; GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J. W.; JONES, A. J. (Eds.). **Methods for assessing soil quality**. Madison: Soil Science Society of América, 1996. p. 123-141. (Special Publication, 49).

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657 p.

BLORE, T. W. D. **Further studies of water use by irrigated and unirrigated Arábica coffee in Kenya**. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 67, n. 2, p. 145-154, Aug. 1966.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. Viçosa: UFV, 2002. 98 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normas Climáticas: (1961-1990)**. Brasília: MARA, 1992. 84p.

CAMARGO, A. P. de. Balanço hídrico, florescimento e necessidade de água para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 1987, Campinas. **Anais....** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 53-90.

CAMARGO, A. P. de. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, n. 126, p. 13-26, jun. 1985.

CANALLI, L. B.; ROLOFF, G. Influência do preparo e da correção do solo na condição hídrica de um Latossolo Vermelho – escuro sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 1, p. 99-104, jan./mar. 1997.

CARVAJAL, J. F. **Cultivo y fertilización**. Berna, Suíza: Instituto Internacional de la Potasa, 1984. 254 p.

CARVALHO, L. G. de; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. da. Determinação da condutividade hidráulica “*in situ*” de um latossolo roxo distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 7, n. 2, p. 1-97, dez. 1996.

COELHO, M. R. **Coefficiente de cultura ( $K_c$ ) e desenvolvimento inicial de duas variedades de cafeeiro (*cofeeá arábica* L.) associados a graus dias**. Lavras: UFLA, 2004. 64 p.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo**. 2003. 92 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

DA ROS, C. O. Manejo do solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 241-247, abr./jun. 1997.

DENMEAD, O. T.; SHAN, R. H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. **Agronomy Journal**, Madison, v. 43, n. 5, p. 385-390, Sept./Oct. 1962.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas. (Estudos FAO, Irrigação e Drenagem 33).** Campina Grande: FAO, 1994. 306 p. 1994

DOORENBOS, J.; PRUIT, W. O. **Las necesidades de água de los cultivos.** Roma: FAO, 1977. 144 p. (FAO Boletim Irrigacion y Drenage, 24).

DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q. J.; BOTREL, T. A. et al. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando modelo Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. 92-102, dez. 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

ESPIRITO SANTO, F. R. **Retenção e transmissão de água em um latossolo roxo sob diferentes sistemas de cultivo.** 1998. 104 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de" de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FAO. **Agroclimatological data for Latin America and Caribbean.** Roma, 1985. (FAO Coleção Produção e Proteção Vegetal, v. 24).

FERREIRA, M. M.; JUNIOR, M. S. D.; MESQUITA, M. G. B.; ALVES, E. A. **Física do Solo.** Lavras: Ed. UFLA, 2003. 79 p.

GOPAL, N. H. Some physiological factors to be considered for stabilization of arabica coffe production in South India. **Indian Coffe**, Bangalore, v. 38, p. 217-221, 1974.

GUANDIQUE, M. E. G. **Balanço hídrico no solo e consumo de água pela cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) irrigado.** 1993. 94 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GUTIÉRREZ, M. V.; MEINZER, F. C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, n. 3, p. 652-657, May 1994.

HAARER, A. E. **Modern Coffee production.** London: Leonard Hill, 1962. 495p.

HILLEL, D. **Soil and water: physical principles and processes**. New York: Academic Press, 1971. 288 p.

HILLEL, D. **Solo e Água: fenômenos e princípios físicos**. Porto Alegre: UFRGS, 1970. 237 p.

HILLEL, D.; KRENTOS, V. D.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. **Soil Science**, Baltimore, v. 114, n. 5, p. 395-400, May 1972.

JENSEN, M. E. Water consumption by agricultural plants. In: KOSLOWSKI, T. T. (Ed.). **Water deficits and plant growth**. 2. ed. New York: Academic Press, 1969. v. 2, p. 1-22.

JENSEN, M. E.; WRIGHT, J. L.; PRATT, B. J. Estimating soil moisture depletion from climate, crop and soil data. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 14, n. 5, p. 954-959, Sept./Oct. 1971

JORGE, J. A.; PRADO, H. Porosidade, consistência e propriedades hídricas de três Podzólicos Vermelho-Amarelos e uma Terra Roxa Estruturada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, n. 1, p. 1-6, jan./abr. 1988.

JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, C. A. da s.; VALADÃO, L. T. Fabricação "caseira" de tensiômetros de boa performance e baixo custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. v. 1, p. 253-255.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia – relações solo-planta**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979. 262 p.

KLAR, A. E., **Irrigação: frequência e quantidade de aplicação**. São Paulo-SP: Nobel, 1991. 156 p.

LEMO, R. C. de; SANTOS, R. D. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 3. ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1996. 83p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: ESALQ. Departamento de Física e Meteorologia, 1995. 497 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999. 497 p.

- LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. 2. ed. Piracicaba, 2000. 509 p.
- LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; NIELSEN, D. P.; BIGGAR, J. W. Simple field methods for estimating soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 1, p. 3-7, Jan./Feb. 1980.
- MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A. E.; VIEIRA, E.; ARANHA, E. Novas observações sobre os efeitos hídricos no pegamento da florada de cafeeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21., 1995, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC 1995. p. 60.
- MEDEIROS, A. T. **Estimativa de evapotranspiração de referência a partir da equação de penman-monteith de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraipaba, CE**. 2002. 103 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- MIRANDA, J. H.; GONÇALVES, A. C.; CARVALHO, D. F. **Água e Solo**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. 410 p. (Série Engenharia Agrícola Irrigação).
- MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. **Water Resource Research**, Washington, v. 12, n. 3, p. 513-522, June 1976.
- OLIVEIRA, J. B. de. Solos para citros. In: RODRIGUES, O.; VIEGA, F.; POMPEU, Jr., J.; AMARO, A. A. (Ed.). **Citricultura brasileira**. Campinas: Fundação Cargill, 1991. v. 1. p. 196-227.
- OLIVEIRA, P. M. de. **Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**. 2003. 86 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1981. 440 p.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: ESALQ, 1997. 183 p.

PERES, J. G.; PEREIRA, A. R.; FRIZZONE, J. A. Avaliação do modelo de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência padronizada pela FAO. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 6, n. 1, p. 65-75, jun. 1995.

PORTELA, J. C. **Retenção de água em solo sob diferentes usos no ecossistema tabuleiros costeiros**. 2000. 53 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de" de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

PRADO, H. do. **Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento agrícola e geotécnico**. 3. ed. rev. e ampl. Piracicaba, 2003.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba, 1996. 446 p.

PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.; SANTOS, W. L.; RODRIGUES, L. N.; ANTUNES, V. L. **Infiltração da água no solo**. 1997. 26 p. (Caderno didático n. 25).

RAMOS, A. K. B. **Avaliação do crescimento, componentes produtivos e composição mineral de três gramíneas forrageiras tropicais**. 1997. 152 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Coffee. In: SCHAFFER, B.; ANDERSON, P. C. (Eds.) **Handbook of environmental physiology of fruit crops: sub-tropical and tropical crops**. Florida, 1994. v. 2, 310 p.

REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. 4. ed. Campinas - SP: Fundação Cargill, 1985. 448 p.

REICHARDT, K.; LIBARDI, P. L.; SAUNDERS, L. C. V.; CADINA, A. C. et al. A dinâmica da água em solo cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-5, jan./abr. 1979.

ROSE, C. W. **Agricultural physics**. London: Pergamon Press, 1966. 230 p.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore Agrícola, 1996. 145 p.

SAUNDERS, L. C. U. **Métodos de determinação e variabilidade espacial da condutividade hidráulica sob condições de campo.** 1978. 71 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

SEDYAMA, C. G.; RIBEIRO, A.; LEAL, B. G. **Relações clima-água-plantas.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Simpósio...** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-85.

SLATYER, R. O. **Plant-water relationships.** New York: Academic Press, 1967. 366 p.

SOARES, J. L. N.; ESPINDOLA, C. R.; FOLONI, L. L. **Alteração física e morfológica em solos cultivados com citros e cana-de-açúcar, sob sistema tradicional de manejo.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 35, n. 2, p. 353-359, mar./abr. 2005.

SOUZA, Z. M. de; ALVES, M. C. **Movimento de água e resistência a penetração de um Latossolo Vermelho Distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 1, p. 18-23, abr. 2003.

SOUZA, M. B. A.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, J. G. F.; SOARES, A. A. **Estudo do consumo de água do cafeeiro em fase de produção, irrigado por pivô-central, na região norte do Espírito Santo e extremo sul da Bahia.** In: SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Resumos...** Vitória: Vitória: Embrapa Café, 2001. p. 48.

STONE, L. R.; HORTON, M. L.; OLSON, T. C. **Water loss from and irrigated sorghum field: Water flux within bellow root zone.** *Agronomy Journal*, Madison, v. 65, n. 3, p. 492-495, May/June 1973.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance.** Centerton: Laboratory of climatology, 1955. 107 p. (Publications in climatology, v. 8, n. 1)

VACHAUD, G.; PASSERAT, D.; SILANS, A.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. **Temporal stability of spatially measured soil water probability density function.** *Soil Science of America Journal*, Madison, v. 49, n. 4, p. 822-828, July/Aug. 1985.

VAN GENUCHTEN, M. T. **A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils.** *Soils Science Society American Proceedings*, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

VIANELLO, L. R.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449 p.

VOLPE, C. A. **Eficiência no uso da água, resistência estomática e parâmetros aerodinâmicos da cultura de milho (*Zea mays* L.)**. 1986. 103 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

WRIGHT, L. New evapotranspiration crop coefficients. **Journal of the Irrigation and Drainage**, New York, v. 108, n. 1, p. 57-75, Jan./Feb. 1982.

## ANEXO

### ANEXO A

#### Página

<b>TABELA 1A Médias mensais de velocidade do vento, umidade relativa, temperaturas e radiação solar, obtidas junto à Mini estação meteorológica. Lavras – MG, 2004.....</b>	<b>83</b>
---	-----------

**TABELA 1A** Médias mensais de velocidade do vento, umidade relativa, temperaturas e radiação solar, obtida junto a mini estação meteorológica. Lavras – MG, 2004

Meses	Médias Mensais			
	Vel. Vento (m s <sup>-1</sup> )	UR (%)	Temp. Média (°C)	Rad. Solar (W m <sup>-2</sup> )
<b>Abril</b>	0,37	83,25	20,07	8,12
<b>Mai</b>	0,43	82,60	17,36	6,94
<b>Junho</b>	0,33	81,72	15,71	6,67
<b>Julho</b>	0,38	79,05	14,92	7,42
<b>Agosto</b>	0,43	65,85	17,39	10,36
<b>Setembro</b>	0,47	60,27	20,99	11,17

## ANEXO

### ANEXO B

	<b>Página</b>
<b>FIGURA 1B</b> Médias mensais de umidade relativa e temperatura, Lavras – MG, 2004.....	85
<b>FIGURA 2B</b> Médias mensais de velocidade do vento e radiação solar, Lavras – MG, 2004.....	85

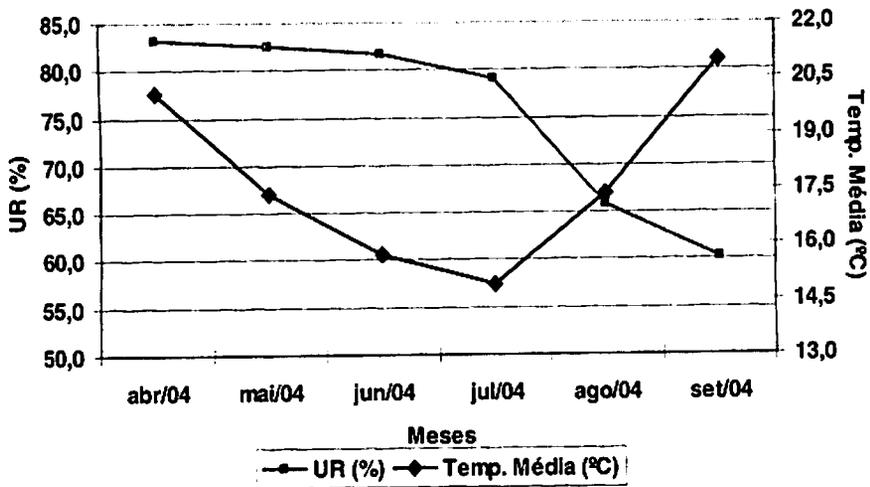


FIGURA 1B Médias mensais de umidade relativa e temperatura, Lavras – MG, 2004

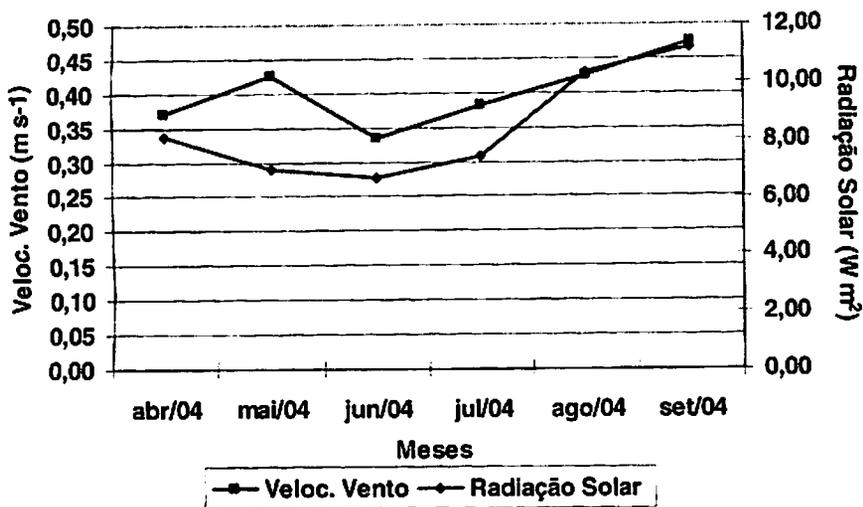


FIGURA 2B Médias mensais de velocidade do vento e radiação solar, Lavras – MG, 2004