

MAYSA DE LIMA LEITE

DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE EQUILÍBRIO
NUMA SUPERFÍCIE CULTIVADA COM FEIJÃO (Phaseolus
vulgaris L.) EM DUAS DENSIDADES DE PLANTIO

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

551.573
L 5320
1283
ex. 023

VIÇOSA
MINAS GERAIS-BRASIL
JULHO-1989

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Ficha catalográfica preparada pela Área de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

Leite, Maysa de Lima.

L533d 1989 Determinação da evapotranspiração de equilíbrio
numa superfície cultivada com feijão (Phaseolus
vulgaris L.) em duas densidades de plantio. Viçosa,
UFV, 1989.

6lp.

Tese (M.S.) - UFV

1. Evapotranspiração de equilíbrio. 2. Parâmetro
α de Priestley e Taylor. 3. Déficit hídrico. 4. Fei-
jão - Plantio - Espaçamento. 5. Feijão - Evapo-
transpiração. I. Universidade Federal de Viçosa.
II. Título.

CDD 18.ed. 551.572

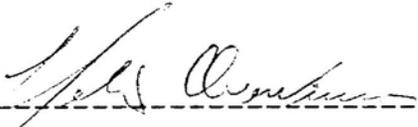
CDD 19.ed. 551.572

MAYSA DE LIMA LEITE

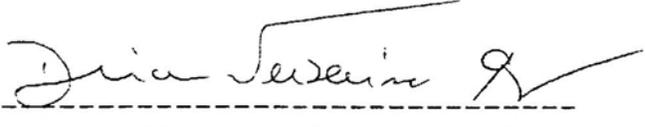
DETERMINAÇÃO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE EQUILÍBRIO
NUMA SUPERFÍCIE CULTIVADA COM FEIJÃO (Phaseolus
vulgaris L.) EM DUAS DENSIDADES DE PLANTIO

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorologia
Agrícola, para Obtenção do Título
de "Magister Scientiae".

APROVADA: 24 de outubro de 1988.



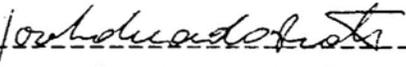
Prof. Hélio Alves Vieira
(Conselheiro)



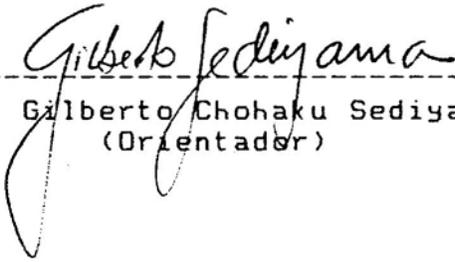
Prof. Dirceu Teixeira Coelho
(Conselheiro)



Prof. Everardo C. Mantovani



Prof. José Eduardo Prates



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Orientador)

A amizade sincera,

A paciência,

A tolerância,

Ao respeito pelo ser humano.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realização deste trabalho.

Ao Professor Gilberto Chohaku Sedyama, pela amizade e pelos eficientes ensinamentos e constante orientação na realização deste trabalho.

Aos Professores Hélio Alves Vieira e Dirceu Teixeira Coelho, pelos valiosos conselhos e pelo apoio.

Aos demais professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos conhecimentos transmitidos durante o Curso.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela ajuda e pela amizade.

A todos os amigos e colegas que, de forma direta ou indireta, participaram na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

MAYSA DE LIMA LEITE, filha de José Batista Leite e Alda de Lima Leite, nasceu em Divinópolis, Minas Gerais, em 20 de agosto de 1962.

Em 1985, graduou-se em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agricultura de Lavras-MG.

Em fevereiro de 1986, iniciou o Curso de pós-graduação no Departamento de Engenharia Agrícola, a nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, na área de Meteorologia Agrícola.

CONTEÚDO

	Página
LISTA DE QUADROS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
EXTRATO	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Local	15
3.2. Lisímetro	16
3.3. Cultura	16
3.4. Etapas do Experimento	17
3.5. Estação Agrometeorológica	17
3.6. Avaliação dos Parâmetros Climáticos	18
3.7. Determinação dos Componentes do Balanço de Energia	19
3.8. Determinação do Balanço Hídrico	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5. RESUMO E CONCLUSÕES	48
BIBLIOGRAFIA	52
APÊNDICE	56

LISTA DE QUADROS

QUADRO		Página
1	Médias Diárias do Saldo de Radiação e do Fluxo de Calor no Solo para os Lisímetros, no Período de 15/05 a 04/06 de 1987. Viçosa-MG	28
2	Médias Diárias Semanais do Fluxo de Calor Latente para os Lisímetros Irrigados (A e C) e os Não-Irrigados (B e D), no Período de 15/05 a 04/06 de 1987. Viçosa-MG	29
3	Médias Diárias Semanais de Evapotranspiração de Equilíbrio numa Superfície Cultivada com Feijão (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), para o Período de Março/Julho de 1987. Viçosa-MG	31
4	Valores Semanais do Balanço Hídrico numa Superfície Cultivada com Feijão	32
5	Teor de Umidade no Solo (Volume) Correspondente aos Potenciais Determinados para a Profundidade de 0-30 cm	33
6	Análise Textural do Solo do Local do Teste, para a Camada de 0 e 20 cm de Profundidade	35
7	Valores do Parâmetro de Priestley e Taylor Determinados para os Períodos de 14/05 a 21/05, 21/05 a 28/05 e 28/05 a 04/06	37
8	Valores Médios do Parâmetro de Priestley e Taylor para os Três Períodos Considerados	38
9	Valores de para os Períodos Considerados	42

QUADRO	Página
1A Médias Diárias do Saldo de Radiação para Superfície Cultivada com Feijão (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), Medidas Diretamente no Campo	56
2A Médias Diárias de Evapotranspiração de Equilíbrio numa Superfície Cultivada com Feijão (<u>Phaseolus vulgaris</u> L.), para o Período Março/julho de 1987. Viçosa-MG	57
3A Médias Diárias de Temperatura do Ar, Utilizadas no Cálculo do Fluxo de Calor do Solo (G)	60
4A Valores de $\frac{\Delta}{\Delta + \gamma}$, observando-se que o Valor da Constante Psicrométrica (γ) para Viçosa-MG Corresponde a $\gamma = 0,612 \text{ mb. } ^\circ\text{C}^{-1}$	61

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Gráfico da Equação de Regressão das Médias Diárias dos Valores de R_n e Respectivo Coeficiente de Correlação	26
2	Componentes do Balanço de Energia para os Lisímetros Irrigados (A e C) e os Não-Irrigados (B e D), Valores Médios de R_n e G Diários e Valores Médios de LE Diários na Semana, para o período de 15/05 a 04/06 de 1987. Viçosa-MG	30
3	Curva de Retenção de Umidade, Determinada para a Profundidade de 0-30 cm	34
4	Relação Entre Evapotranspiração Real e Evapotranspiração de Equilíbrio Semanais, para os Lisímetros Irrigados (A e C) e Não-Irrigados (B e D)	40
5	Equação de Regressão Entre os Valores do Parâmetro e $LE/(R_n + G)$ para os Três Períodos Utilizados no Cálculo do Valor Médio de , para Lisímetros Irrigados e Não-Irrigados	44
6	Equação de Regressão Entre os Valores do Parâmetro e $LE/(R_n + G)$ para o Período mais Seco, para Lisímetros Irrigados e Não-Irrigados	45

EXTRATO

LEITE, Maysa de Lima, M.S., Universidade Federal de Viçosa, julho de 1989. Determinação da Evapotranspiração de Equilíbrio numa Superfície Cultivada com Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em Duas Densidades de Plantio. Professor Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Professores Conselheiros: Hêlio Alves Vieira e Dirceu Teixeira Coelho.

Este trabalho foi realizado na Estação Evapotransporimétrica do Departamento de Engenharia Agrícola, no "Campus" da Universidade Federal de Viçosa, no período de 26 de março a 12 de julho de 1987, com o objetivo principal de determinar o parâmetro α de Priestley e Taylor da equação de evapotranspiração de equilíbrio, para as condições de Viçosa e analisar sua possível variação em função do teor de umidade do solo e da densidade de plantio.

Foram utilizados quatro lisímetros de percolação, do tipo Thornthwaite e Mather, com $6,0 \text{ m}^2$ de área e profundidade efetiva de $0,75 \text{ m}$, nos quais foi efetuado o plantio do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), da variedade Negrito 897.

Em dois lisímetros (A e B) empregou-se o espaçamento de 0,50 m entre fileiras, nos outros dois (C e D), de 0,40 m, porém mantendo-se a mesma população de plantas em todos os lisímetros.

Para os lisímetros A e C foi estabelecido um regime de irrigação que os mantivessem próximos à capacidade de campo, já para os lisímetros B e D foi suspensa a irrigação 56 dias após o plantio.

A determinação da variação do teor de umidade no solo foi feita mediante o uso de tensiômetros, células de Colman e determinações de umidade pelo método-padrão de estufa.

Os resultados obtidos permitiram determinar um valor médio do parâmetro α de Priestley e Taylor igual a 1,30, indicando boa aproximação ao valor do trabalho original, que é de 1,26.

Os diferentes espaçamentos utilizados não influíram na determinação do valor médio de α .

O teor de umidade do solo manteve-se sempre elevado em todos os lisímetros até o final do experimento, caracterizando condições de solo próximo à capacidade de campo e impedindo a avaliação da influência do teor de umidade no solo sobre a variação do valor de α .

1. INTRODUÇÃO

A transferência de água em estado de vapor para a atmosfera pela evaporação em superfícies úmidas ou pela transpiração vegetal constitui importante elo do ciclo hidrológico na natureza (2).

Uma vez liberada sobre o solo, a água pode apresentar diferentes procedimentos. Enquanto parte penetra no solo, outra parte pode escoar superficialmente. A que se infiltra, evapotranspira ou se perde por percolação.

O termo evapotranspiração foi definido por THORNTHWAITTE (21) como a perda combinada de água em forma de vapor para a atmosfera, através dos processos de evaporação nas superfícies e transpiração das plantas.

Segundo PENMAN (11), a evapotranspiração potencial é o total de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, por unidade de tempo, de uma superfície extensa completamente coberta de vegetação de porte baixo e sem limitação de água. Na ausência de uma destas condições, a evapotranspiração é denominada evapotranspiração real.

Quando a evapotranspiração é representada apenas pelos componentes verticais do balanço de energia, a evapotranspiração de uma superfície sem restrição hídrica passa então a ser conhecida como evapotranspiração de equilíbrio.

O conhecimento da taxa de evapotranspiração é essencial para se poder estimar a quantidade de água requerida para irrigação. Também o conhecimento do consumo de água nos diversos estágios de desenvolvimento das plantas cultivadas permite a administração de uma irrigação mais racional e efetiva, de acordo com a exigência da cultura. Esse conhecimento é, também, útil mesmo na agricultura não-irrigada, pois permite o ajustamento de épocas de semeadura, dentro da estação de crescimento, em função da disponibilidade hídrica da região considerada, determinando maior eficiência no aproveitamento das precipitações (2).

Nos últimos anos, um grande esforço tem sido feito para se desenvolver métodos mais eficazes para o cálculo da evapotranspiração potencial. A maioria desses métodos fundamenta-se no modelo original de Penman, publicado pela primeira vez em 1948, o qual se tornou conhecido por método combinado. Esse método, desde aquela época, tem sido modificado pelo próprio Penman e por diversos outros pesquisadores, conforme demonstram PRIESTLEY e TAYLOR (12), que também relacionam a evapotranspiração potencial como uma função da evapotranspiração de equilíbrio, por intermédio de um coeficiente empírico.

A parametrização da evapotranspiração proposta por Priestley e Taylor foi derivada de dados obtidos de superfícies sem restrição hídrica cultivadas com azevém, feijão e outras culturas e de reservatórios naturais de água, na ausência de advecção, e demonstra que a estabilidade do parâmetro ($\alpha = 1,26$) para superfícies sem restrição hídrica é largamente aplicável. Tal recomendação é apoiada em conclusões obtidas por medições de STEWART e ROUSE (18) e DAVIES e ALLEN (4).

Atribuindo-se um valor constante para o parâmetro α do modelo de Priestley e Taylor, o qual substitui o termo aerodinâmico, obtem-se uma maneira mais simples para a estimativa da evapotranspiração, quando comparada à equação de Penman, uma vez que, utilizando-se o parâmetro α , não há necessidade de especificar o mecanismo turbulento de transferência de calor, presente no modelo de Penman e de difícil determinação.

Com base no exposto, este trabalho teve os seguintes objetivos:

- Determinar os componentes do balanço de energia para o cálculo da evapotranspiração de equilíbrio (LE_{eq}) sobre a cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.).

- Determinar o parâmetro de Priestley e Taylor da equação de evapotranspiração de equilíbrio (LE_{eq}), substituindo o termo aerodinâmico.

- Analisar as possíveis variações do parâmetro α em função do teor de umidade do solo e da densidade de plantio.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Slatyer e McIlroy, citados por DAVIES e ALLEN (4), apresentam uma modificação do modelo original de Penman para cálculo da evapotranspiração, o qual combina o termo do balanço de radiação com o de energia aerodinâmica, na seguinte forma:

$$LE = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) - \rho c_p h (D_o - D_z), \quad \text{eq. 1}$$

em que:

- L = calor latente de vaporização de água, cal.g^{-1} ;
- E = fluxo de lâmina de água evaporada, cm.dia^{-1} ;
- Δ = tangente à curva que relaciona pressão de saturação do vapor e temperatura, $\text{mb.}^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- γ = constante psicrométrica, $\text{mb.}^{\circ}\text{C}^{-1}$;
- R_n = saldo de radiação, $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;
- G = fluxo de calor no solo, $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;
- ρ = massa específica do ar, g.cm^{-3} ;
- c_p = calor específico do ar à pressão constante, $\text{cal.g}^{-1}.\text{}^{\circ}\text{C}^{-1}$;

h = coeficiente de transferência turbulenta de calor,
cm.dia⁻¹;

D_0 = depressão psicrométrica à superfície, mb;

D_z = depressão psicrométrica a uma altura (z) acima da superfície, mb;

Na equação 1, o termo $(\rho c_p h) (D_0 - D_z)$ é o principal responsável pelos diferentes valores na taxa de evapotranspiração entre superfícies sem restrição hídrica, com o mesmo saldo de radiação. Quando o ar acima de uma superfície úmida não está saturado ($D_z = D_0 = 0$), obtém-se o fluxo de evapotranspiração potencial (PLE) da equação:

$$PLE = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) + \rho c_p h D_z \quad \text{eq. 2}$$

Por outro lado, quando a camada inferior da atmosfera está saturada ($D_z = D_0 = 0$), a equação 1 reduz-se ao fluxo de evapotranspiração de equilíbrio (LE_{eq}) ou ao fluxo de calor latente em condições de equilíbrio, conforme Slatyer e MacIlroy, citados por STEWART e ROUSE (18).

$$LE_{eq} = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G) \quad \text{eq. 3}$$

A LE_{eq} representa o limite inferior da evapotranspiração potencial, uma vez que corresponde à menor evapotranspiração possível de uma superfície sem restrição hídrica e pode ser calculada simplesmente em função da disponibilidade de energia e de temperatura, visto que $\Delta / (\Delta + \gamma)$ depende da temperatura.

Conforme demonstram Priestley e Taylor (12), a evapotranspiração de superfícies numa atmosfera não-saturada, que é a condição normal da natureza, pode ser expressa como uma função da evapotranspiração de equilíbrio, por intermédio da equação:

$$PLE = \alpha LE_{eq} \quad \text{eq. 4}$$

Substituindo-se a equação 3 em 4, obtém-se:

$$PLE = \alpha \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G), \quad \text{eq. 5}$$

em que: α é um coeficiente empírico cujo valor médio é de 1,26 para superfícies sem restrição hídrica, segundo Priestley e Taylor.

Esse coeficiente pode ser determinado através de lisímetros, por meio da seguinte relação:

$$\alpha = \frac{LE}{LE_{eq}} \quad \text{eq. 6}$$

Atribuindo-se um valor constante para α , a equação 5 proporciona uma maneira mais simples para a estimativa da evapotranspiração quando comparada à equação 1, uma vez que para a equação 5 não há necessidade de se especificar o mecanismo turbulento de transferência de calor.

DE BRUIN e KEIJMAN (5) examinaram a aplicabilidade do modelo de Priestley e Taylor para o Lago Flevo, Holanda. Este lago era temporário e foi criado em razão da construção de um

dique, apresentando uma área de aproximadamente 460 km^2 e uma profundidade média de 2 metros. Valores diários de evaporação no período julho-setembro 1967, determinados através do método do balanço de energia, foram comparados com os correspondentes valores estimados e obtidos pelo modelo de PRIESTLEY e TAYLOR (12), considerando-se $\alpha = 1,26$. A concordância mostrou-se satisfatória.

Foi encontrada uma variação diurna do parâmetro α do modelo de PRIESTLEY e TAYLOR (12). A variação diurna apresentou valores mínimos no início do dia e maiores no final. O mínimo foi de 1,15 e 1,16, para julho e agosto, e o máximo, de 1,42 e 1,41. O valor médio diário de α para ambos os meses foi de 1,29. Também foi testada a possibilidade de uma variação do parâmetro α nas diferentes estações do ano, uma vez que o modelo de Priestley e Taylor não havia sido testado para períodos de verão e início de outono. Para tal, foi usado um modelo de balanço de energia, calculado com base em observações meteorológicas-padrão. Os dados foram obtidos no período de abril-outubro, em Oostvaardersdiep, uma estação próxima ao Lago Flevo e completamente circundada de água.

Os termos da equação do balanço de energia foram calculados por meio de um modelo desenvolvido por Keijman, citado por DE BRUIN e KEIJMAN (5). Esse modelo apresenta uma sólida base física, mas contém uma importante simplificação, ou seja, assume que a massa de água não apresenta estratificação térmica. O modelo produziu bons resultados para o Lago Flevo, mesmo para o período de verão.

Resumindo, concluiu-se que o modelo do balanço de energia usado neste estudo prevê uma relação linear entre LE e LE_{eq} , assim como Priestley e Taylor (12), porém a relação linear do tipo $LE = aLE_{eq} + b$ ajusta-se melhor aos dados do que o conceito original. Os dados obtidos não foram suficientes para calcular valores confiáveis dos parâmetros a e b mensais, mas o valor de a seria algo menor que 1,26 e b , da ordem de $10Wm^{-2}$. No verão, quando o valor de LE é muito maior que b , a diferença entre os modelos de um e dois parâmetros não é significativa.

Um estudo feito por STEWART e ROUSE (17) examinou a evaporação de um lago de pequena profundidade nas planícies da Baía de Hudson, no período de verão, avaliado em função do balanço de energia e modelo de equilíbrio. Os cálculos do balanço de energia revelaram que, em média, 55% do saldo diário de radiação foi utilizado no processo evaporativo sobre o lago. Valores de evaporação diários e de 30 minutos mostraram-se bastante próximos aos do modelo de Priestley e Taylor (12), onde a razão evaporação real sobre evaporação de equilíbrio corresponde a 1,26.

Devido à preocupação por parte de alguns pesquisadores em derivar fórmulas que possibilitem a estimativa da evapotranspiração real em solos descobertos e não-saturados, DAVIES e ALLEN (4) propuseram uma modificação no modelo de Priestley e Taylor (12) para estimar a evapotranspiração real em solos cobertos com vegetação, considerando-se o coeficiente α uma função da umidade do solo.

A equação 5 de Priestley e Taylor é modificada para:

$$LE = \alpha' \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n + G), \quad \text{eq. 7}$$

em que: α' é definido pela seguinte relação empírica:

$$\alpha' = a \left[1 - \exp \left(-b \frac{SSM}{SSM_f} \right) \right], \quad \text{eq. 8}$$

em que:

a e b = constantes empíricas;

SSM = umidade média do solo numa camada de $0 - 0,05$ m, cm^3 .
 cm^{-3} ;

SSM_f = umidade do solo na capacidade de campo, $cm^3 \cdot cm^{-3}$.

Os valores para a e b determinados pelos autores foram 1,26 e 10,563, com $R^2 = 0,98$.

Combinando as equações 7 e 8, obtém-se:

$$LE = 1,26 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} (R_n - G) \left[1 - \exp \left(-10,563 \frac{SSM}{SSM_f} \right) \right] \quad \text{eq. 9}$$

Na equação 9, quando a SSM aproxima-se da SSM_f , a exponencial torna-se um número pequeno e a expressão 9 reduz-se à expressão 5, que representa a condição de evaporação de equilíbrio da fórmula de Priestley e Taylor.

Quando a SSM tende a zero, a exponencial aproxima-se da unidade e, conseqüentemente, o LE também tende a zero.

BARTON (1) e DAVIES e ALLEN (4) admitem que α é função da umidade do solo. Assim, a equação 5 pode ser generalizada para as demais condições, desde que represente as variações

do teor de umidade do solo. WILLIAMS et alii (24) não encontraram nenhuma relação satisfatória entre os valores de α e da umidade do solo em condições não potenciais, quando trabalharam com superfícies cobertas por vegetação e baixos teores de umidade.

Vários estudos têm sido conduzidos, no sentido de se relacionar o parâmetro α e o teor de umidade na superfície do solo, sem, contudo, ter encontrado uma relação universalmente aplicável.

MARSH et alii (10) conduziram um estudo sobre evaporação nas elevadas regiões do Ártico, para testar se relações derivadas das regiões de clima temperado poderiam ser aplicadas diretamente àquelas condições. O material dominante da superfície variava desde cascalho miúdo e areia grossa até um solo argilo-arenoso, sendo que esta camada de solo apresentava uma profundidade em torno de 65 cm, abaixo da qual encontrava-se uma camada permanentemente congelada. Para tais condições, o parâmetro α' foi expresso em função da umidade do solo (S_m), como segue:

$$\alpha' = 1,26 [\exp (a + bS_m)]^{-1} \quad \text{eq. 10}$$

Comparações de relações obtidas entre o parâmetro α e a umidade do solo, em latitudes temperadas, sugerem que, sob condições mais secas, a taxa de evaporação seria a principal responsável pelas características particulares do local, de maneira que não existe relação única entre a umidade da superfície do solo e as taxas de evaporação, concluindo-se que a relação entre α e umidade era específica para o local.

Segundo STEWART e ROUSE (18), os valores do fluxo de calor latente determinados pela equação do balanço de energia durante o período de verão foram comparados às estimativas do modelo de equilíbrio para dois lagos de pequena profundidade (~ 0,5 m e 2,0 m) e dois campos saturados no norte do Canadá. Comparações dos valores do balanço de energia com estimativas de equilíbrio para cada superfície mostram que o fluxo de calor latente pode ser determinado, com grande precisão, pelo modelo de Priestley e Taylor, onde α , que corresponde à razão entre evapotranspiração real e de equilíbrio, apresenta o valor de 1,26. Os resultados sugerem que o coeficiente α de Priestley e Taylor apresenta ampla aplicação para superfícies sem restrição hídrica de altas latitudes.

THOMPSON (20), trabalhando com dados do balanço de energia de três superfícies de solo não-saturado, verificou a instabilidade do parâmetro α para tais condições e, ao mesmo tempo, verificou a estabilidade do valor 1,26 para condições saturadas. Para algumas superfícies naturais, α parece tomar um valor próximo à unidade. ROUSE e STEWART (14) obtiveram $\alpha = 0,995$, e STEWART e ROUSE (18) obtiveram $\alpha = 1,00$ para uma superfície coberta com líquen, determinando também que α decresce à medida que a razão LE/R_n também decresce.

TANNER e JURY (19) concluíram que usando-se valores do saldo de radiação (R_n) de 24 horas, na equação 5 α é $1,35 \pm 0,10$, dependendo do tipo de cultura e condições climáticas. Se os valores diurnos de R_n forem usados, α apresenta valores menores.

JURY e TANNER (8) demonstraram que o valor de α aumenta na presença de advecção e sugerem, então, um procedimento para a adaptação do modelo de Priestley e Taylor. Segundo estes autores, sob circunstâncias de advecção intensa, provavelmente ocorre um aumento do déficit de saturação da camada de ar acima da superfície da cultura.

Assim, para que tais condições de advecção intensa sejam levadas em consideração, ampliou-se a equação 5, por meio de uma alteração da constante α , para:

$$\alpha^* = 1,0 (\alpha - 1) \overline{(e_z^* - e_z)} / (e_z^* - e_z) \quad \text{eq. 11}$$

em que:

e_z = pressão de vapor de água no nível (z) acima da superfície, mb;

e_z^* = pressão de saturação de vapor de água no nível (z) acima da superfície, mb;

$\overline{(e_z^* - e_z)}$ = déficit de saturação médio a longo prazo para período de baixa advecção.

Para se utilizar a equação 11, o parâmetro α é obtido ajustando-se a equação 5 para cada cultura e condição climática, juntamente com o termo $(e_z^* - e_z)$.

KANEMASU et alii (9) constataram que a evapotranspiração potencial era, grosseiramente, subestimada em presença de advecção, mesmo usando-se a correlação Jury-Tanner. Por outro lado, SHOUSE et alii (16) determinaram que o modelo modificado de Priestley e Taylor, em presença de

advecção, comportou-se adequadamente, enquanto o modelo não-modificado não forneceu resultados satisfatórios, mesmo fazendo-se a calibração local do parâmetro.

VAN BAVEL (22) relata, a seguir, uma série de observações importantes para o presente estudo. Um campo (8000 m² área) em Fênix, Arizona, foi irrigado por inundação em 28 de maio de 1964, e observações foram feitas de 29/05 a 28/06, período no qual o potencial de água no solo havia diminuído, atingindo o valor de -15 bars. A taxa de evaporação a partir de lisímetros de pesagem apresentava-se disponível juntamente com os saldos de radiação e temperatura do ar tomados a uma altura não estabelecida. O fluxo de calor do solo não foi medido, mas uma vez observado que era pequeno e que os efeitos do fluxo de calor no solo eram provavelmente desprezíveis, foram usados totais de evaporação e saldo de radiação de 24 horas.

Com um campo tão pequeno, irrigado e em um clima árido, efeitos de advecção devem ser, possivelmente, consideráveis, e assim deve-se levar em conta tais condições. Quando a razão evaporação real sobre evaporação potencial foi plotada em relação ao tempo, permaneceu razoavelmente constante até 17/06, após o qual se desenvolveu uma pronunciada tendência descendente. O valor médio da razão durante o período quase constante foi 1,35. Uma vez que as condições meteorológicas gerais parecem não variar muito, assumiu-se que o efeito da advecção foi responsável pelo aumento das taxas de evaporação.

A aplicação do modelo de Priestley e Taylor é mais confiável para áreas úmidas. Todavia, ainda não foi

adequadamente testado em regiões áridas. Considerando-se que o modelo utiliza dados meteorológicos facilmente acessíveis, torna-se mais apropriado para estimativas de evapotranspiração potencial.

Com base no exposto, torna-se de grande interesse o estudo do comportamento do parâmetro α e suas possíveis variações para as diversas condições, procurando-se um valor médio que o represente para fins de aplicação em cálculos de evapotranspiração.

3. MATERIAL E MÉTODO

O material, a metodologia e todos os procedimentos utilizados no decorrer desta pesquisa estão descritos em subitens, como se segue:

3.1. Local

O experimento foi conduzido na Estação Evapotransporimétrica do Departamento de Engenharia Agrícola, no "Campus" da Universidade Federal de Viçosa, Município de Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de 20^o45'S de latitude, 42^o51'W de longitude e 651 m de altitude, de clima Cwa, segundo classificação de Koeppen.

A área experimental foi constituída por uma bateria de lisímetros instalada em área de 110 m² (10 x 11 m), contornada por vegetação natural. Um dos lados dessa área apresentava um gramado (Paspalum notatum L.), onde estava instalada uma estação agrometeorológica.

3.2. Lisímetro

Foram utilizados quatro lisímetros de percolação, tipo Thornthwaite e Mather, sendo cada um de $6,0 \text{ m}^2$ de área, apresentando profundidade efetiva de $0,75 \text{ m}$. O solo da estação foi classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico Distrótico, fase terraço (15), sendo os lisímetros completados com o mesmo solo. Após a construção dos lisímetros, foi adicionado adubo orgânico (esterco de gado) na camada superficial.

3.3. Cultura

Foi utilizada a cultura do feijão (Phaseolus vulgaris L.) da variedade Negrito 897, mediante semeadura manual, em uma única época de plantio, em fileiras espaçadas de $0,50 \text{ m}$, para dois lisímetros, colocando-se 15 sementes por metro linear e deixando, após desbaste, 10 plantas por metro linear. Para os outros dois lisímetros, foi utilizado o espaçamento de $0,40 \text{ m}$, colocando-se 13 sementes por metro linear e deixando, após desbaste, oito plantas por metro linear. Desta forma, foram empregados dois diferentes espaçamentos, porém com a mesma população de plantas em todos os lisímetros, o que corresponde a 200 mil plantas por ha, conforme recomendação de VIEIRA (23).

As linhas de plantio foram contínuas dentro da área de 110 m^2 ($10 \times 11 \text{ m}$).

A adubação consistiu na aplicação de 120 kg/ha da fórmula NPK, na dosagem de 4:14:8, e uma aplicação de 120 kg/ha de sulfato de amônia em cobertura.

3.4. Etapas do Experimento

Foram as seguintes as etapas experimentais: preparação dos lisímetros, calibração e instalação dos instrumentos e coleta de dados. Esta última foi realizada diariamente às 7:00 horas, no período de 25/03/87 a 02/07/87.

3.5. Estação Agrometeorológica

A estação instalada ao lado dos lisímetros era constituída pelos seguintes equipamentos:

- tanque USWB classe A;
- tanque Young Screen;
- pluviômetro do tipo Ville de Paris;
- pluviógrafo de balança;
- heliógrafo Campbell - Stokes;
- anemômetro totalizador de conchas, instalado a 2 m de altura;
- termoigrógrafo;
- psicrômetro ventilado;
- termômetro de máxima e mínima;
- evaporímetro de Piche;
- saldo radiômetro;
- termômetros de solo.

3.6. Avaliação dos Parâmetros Climáticos

As avaliações da temperatura e umidade relativa foram feitas mediante uso de termoigrógrafo da marca FUESS, modelo 159 r, de rotação semanal, com escala de 1 °C para temperatura e de 5% para umidade relativa. As médias diárias de temperatura e umidade relativa foram obtidas de 12 valores, já que o termoigrograma era graduado de duas em duas horas.

A velocidade média do vento, a dois metros de altura, foi obtida com o anemômetro totalizador da marca FUESS, modelo 91 g, graduado em milhas náuticas, com leituras de 24 em 24 horas.

A insolação diária foi registrada pelo Heliógrafo de esfera de cristal, do tipo Campbell-Stokes. Os traçados carbonizados ou crestados nas tiras do heliógrafo foram avaliados, e os resultados obtidos foram expressos em horas.

A evaporação diária foi obtida no tanque USWB classe A, instalado conforme padrão, e as leituras feitas diariamente com micrômetro de gancho, com precisão de 0,01 milímetro, em poço tranquilizador instalado no interior do tanque.

A quantidade de precipitação foi obtida no pluviômetro Ville de Paris e as leituras feitas em proveta graduada em milímetro de precipitação.

A determinação da pressão de vapor de água foi feita com base em leituras diárias das temperaturas dos termômetros de bulbos úmido e seco do psicrômetro ventilado, tipo Assmann, instalado no abrigo meteorológico.

3.7. Determinação dos Componentes do Balanço de Energia

O saldo de radiação diária foi obtido por meio de uma equação de regressão ajustada á partir de dados de saldo de radiação medidos diretamente no campo, através de um saldo radiômetro em períodos de três dias consecutivos a cada semana e dados de estimativa de saldo de radiação, para os mesmos períodos, por intermédio do modelo de Ångstron-Brunt, que se apresenta na forma:

$$Q = (1 - r) \cdot Q_g + 1440 \cdot Ta^4 \cdot (0,09 \sqrt{e} - 0,56) \cdot (0,1 + 0,9 n/N) \quad \text{eq. 12}$$

Q = saldo de radiação, $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

r = poder refletor da superfície, %;

Q_g = radiação solar global, $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$;

= constante de Stephan-Boltzmann;

$0,827 \times 10^{-10} \text{ cal.cm}^{-2}.\text{m}^{-1}.\text{K}^{-4}$;

T_a = temperatura absoluta do ar, K;

e = pressão atual média diária de vapor d'água, mmHg;

n = insolação diária, horas;

N = número diário possível de horas de brilho solar, horas.

A partir dos registros gráficos do instrumento, procedeu-se à planimetria das áreas e sua posterior conversão de unidade de milivolts para $\text{cal.cm}^{-2}.\text{hora}^{-1}$, obtendo-se, assim, o saldo diário de radiação.

Segundo JENSEN (7), uma aproximação do fluxo de calor no solo a longo prazo pode ser obtida, assumindo-se que a

temperatura média do solo varia aproximadamente com a temperatura média do ar medida à altura de dois metros e que a capacidade térmica volumétrica média para o solo é de $0,5 \text{ cal cm}^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Assim sendo, o fluxo de calor no solo pode ser determinado através de:

$$G = \frac{T_{i-1} - T_{i+1}}{t} \times 100, \quad \text{eq. 13}$$

em que:

G = fluxo médio diário de calor no solo, $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$;

T_{i-1} = temperatura média do ar suavizada para o dia $(i-1)$, $^\circ\text{C}$;

T_{i+1} = temperatura média do ar suavizada para o dia $(i+1)$, $^\circ\text{C}$;

t = intervalo de tempo em dias entre os pontos médios de dois períodos, dias.

As médias diárias de temperatura, obtidas a partir dos termoigrogramas, foram suavizadas para maior precisão dos cálculos do fluxo de calor no solo a partir da fórmula:

$$\bar{T}_i = \frac{T_{i-2} + T_{i-1} + 2T_i}{4}, \quad \text{eq. 14}$$

em que:

\bar{T}_i = temperatura média do ar, suavizada para o dia (i) , $^\circ\text{C}$;

T_{i-2} = temperatura média do ar para o dia $(i-2)$, $^\circ\text{C}$;

T_{i-1} = temperatura média do ar para o dia (i - 1), °C;

T_i = temperatura média do ar para o dia (i), °C.

Os valores da tangente na curva que relaciona pressão de saturação de vapor e temperatura (5) foram obtidos através da fórmula de:

$$\Delta = \frac{de}{dt} = \frac{e_z^* - e_{wz}^*}{T_z - T_{wz}},$$

em que:

e_z^* = pressão de saturação de vapor no nível z acima da superfície, mb;

e_{wz}^* = pressão de saturação de vapor à temperatura do bulbo úmido no nível z acima da superfície, mb;

T_z = temperatura do ar no nível z acima da superfície, °C;

T_{wz} = temperatura do bulbo úmido no nível z acima da superfície, °C.

O valor da constante psicrométrica foi determinado por meio da fórmula:

$$\gamma = \frac{cp.p}{0,622.L}$$

em que:

γ = constante psicrométrica, $\text{mb}^{\circ\text{C}^{-1}}$;

cp = calor específico do ar à pressão constante, $\text{cal.g}^{-1} \text{ }^{\circ\text{C}^{-1}}$;

p = pressão atmosférica média do período mb;

L = calor latente de vaporização de água, cal.g^{-1} .

3.8. Determinação do Balanço Hídrico

REICHARDT (13) expressa o balanço hídrico do solo pela lei da conservação das massas.

$$\int_{t_0}^{T_1} (p + i - q_e \pm q_z) dt = \int_0^L \int_{t_0}^{T_1} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) dt dz, \quad \text{eq. 15}$$

em que:

p = fluxo de água devido à precipitação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$;

i = fluxo de água devido à irrigação, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$;

q_e = fluxo de água devido à evapotranspiração, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$;

q_z = fluxo de água no solo na profundidade L (drenagem profunda ou ascensão capilar), $\text{cm}^3 \text{cm}^{-2} \text{dia}^{-1}$;

θ = conteúdo volumétrico de água, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

z = coordenada vertical sobre um eixo orientado positivamente para baixo, cm ;

t = tempo, dia .

A equação 14 nos diz simplesmente que a soma algébrica dos fluxos durante um intervalo $t = t_1 - t_0$ é igual às variações da quantidade de água no mesmo intervalo em camada de θ a L . Reescrevendo esta equação de maneira mais simplificada, como é apresentada por muitos autores, tem-se:

$$ET = P* + I - D* - \Delta U, \quad \text{eq. 16}$$

em que:

$P*$ = precipitação pluvial, mm ;

I = lâmina de água aplicada, mm ;

D^* = drenagem de percolação, mm;

ΔU = variação da umidade do solo do lisímetro, mm;

ET = evapotranspiração da cultura, mm.

As precipitações foram medidas diariamente no pluviômetro, e mediu-se o termo I usando-se um hidrômetro da marca Nansen, graduado em litros, devidamente calibrado e acoplado ao sistema de mangueira de irrigação.

O termo D^* do balanço hídrico foi avaliado por meio da coleta no extremo do tubo de drenagem. O volume era obtido com medições diárias em provetas graduadas.

A determinação do momento de irrigação foi feita mediante uso de bateria de tensiômetros e células Colman. Dessa forma, a irrigação era feita quando determinava-se um teor de umidade no solo em torno de 60% da capacidade de campo. Para transformação dos dados dos tensiômetros, utilizou-se a curva de retenção de umidade e, para célula de Colman, foram executadas calibrações no campo e no laboratório, utilizando-se o método-padrão de estufa.

As leituras eram diárias e o balanço calculado semanalmente.

Também foi feita a determinação do teor de umidade no solo dos lisímetros pelo método-padrão de estufa de 10 em 10 cm de profundidade no perfil de 0-60 cm. Inicialmente procedeu-se a determinações semanais, passando posteriormente de dois em dois dias. Essas determinações de umidade pelo método padrão de estufa foram utilizadas no fechamento do balanço hídrico.

A irrigação suplementar foi do tipo aspersão manual, adotando-se eficiência de 100%.

A lâmina de irrigação foi baseada no valor de ET_o , que corresponde ao valor da evaporação medida no tanque Classe A (EV) multiplicado pelo coeficiente do tanque (K_p), proposto por DOORENBOS e PRUITT (6). Paralelamente fez-se um acompanhamento da água percolada, para que esta não ultrapassasse o valor de 10% do total aplicado nas irrigações.

A lâmina foi avaliada, usando-se um hidrômetro, graduado em litros, devidamente calibrado e acoplado ao sistema de mangueira de irrigação.

O turno de rega inicial foi de sete dias e, dessa forma, a EV foi a lâmina acumulada de evaporação medida no tanque Classe A na semana anterior à irrigação. Uma pequena variação no turno de rega foi observada no decorrer do experimento, uma vez que o objetivo era manter um teor mínimo de umidade no solo em torno de 60 a 70 % da capacidade de campo do solo, medido através das células Colman instaladas nos lisímetros.

Para os quatro lisímetros foi estabelecido um regime de irrigação que os mantivessem próximos à capacidade de campo, sendo que em dois deles foi suspensa a irrigação em torno de 56 dias após o plantio.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O saldo de radiação foi obtido, utilizando-se o saldo-radiômetro para medições em períodos de três dias consecutivos a cada semana. A partir desses dados, ajustou-se uma equação linear entre os dados determinados com o saldo radiômetro (variável dependente) e o saldo de radiação, estimado através do modelo de Ångstron e Brunt.

$$Y = -24,1302 + 1,87721 X \quad \text{eq. 16}$$

em que:

Y = estimativa do saldo de radiação medido no campo (cal cm^{-2} dia⁻¹);

X = estimativa do saldo de radiação por meio do balanço de radiação, utilizando-se os modelos de Ångstron e Brunt (cal cm^{-2} dia⁻¹).

O modelo linear apresentou um coeficiente de correlação igual a 84,12%.

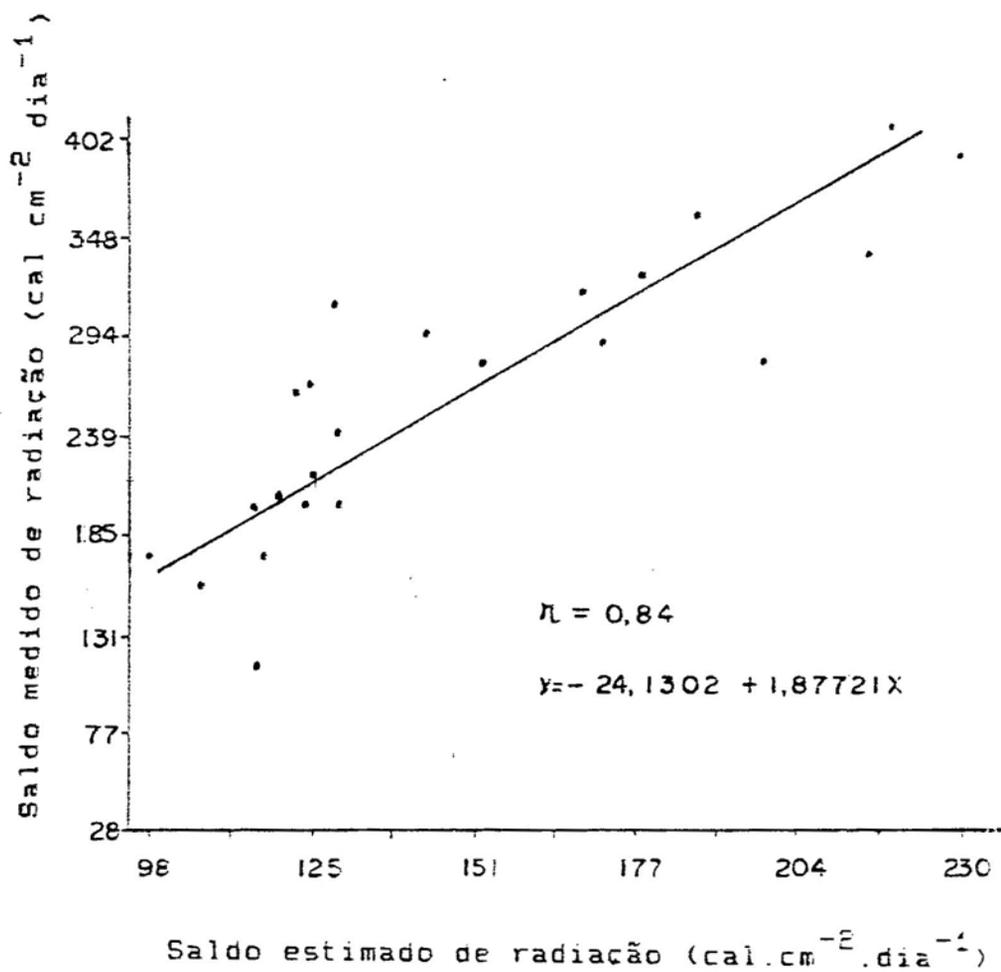


FIGURA 1 - Gráfico da Equação de Regressão das Médias Diárias dos Valores de Rn e Respectivo Coeficiente de Correlação (r)

Os resultados obtidos para as médias diárias do saldo de radiação e do fluxo de calor no solo, calculados para o período de 15/05 a 04/06, e as médias diárias semanais do fluxo de calor latente para os lisímetros irrigados (A e C) e não-irrigados (B e D), para os períodos semanais de 14/05 a 21/05, 21/05 a 28/05 e 28/05 a 04/06, estão relatados no Quadros 1 e 2.

Por intermédio da análise dos valores contidos nos Quadros 1 e 2 e pela Figura 2 pode-se verificar que a variação do fluxo de calor no solo encontra-se quase em fase com a variação do saldo de radiação. Para o período correspondente houve um decréscimo gradual do saldo de radiação, juntamente com o fluxo de calor no solo, à medida que se aproximava a estação de inverno.

Os resultados obtidos para fluxo de calor latente foram plotados semanalmente a partir de dados obtidos pelo balanço hídrico do solo nos lisímetros de percolação, tipo Thornthwaite e Mather, e apresentaram-se bastante próximos quando comparou-se lisímetros irrigados e não-irrigados, ressaltando assim o alto teor de umidade, mesmo nos lisímetros não-irrigados.

O valor da constante psicrométrica utilizado para os cálculos da evapotranspiração de equilíbrio foi de $\gamma = 0,612 \text{ mb } ^\circ\text{C}^{-1}$. Os valores da tangente à curva que relaciona pressão de saturação de vapor e temperatura são apresentados no Quadro 4A.

QUADRO 1 - Médias Diárias do Saldo de Radiação e do Fluxo de Calor no Solo para os Lisímetros, no Período de 15/05 a 04/06 de 1987. Viçosa-MG

Data	Saldo de Radiação (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	Fluxo de Calor no Solo (cal cm ⁻² dia ⁻¹)
15/05	321,75	-8,63
16/05	224,04	64,75
17/05	191,90	93,63
18/05	191,62	32,63
19/05	216,60	-40,50
20/05	298,81	-95,25
21/05	330,85	-57,50
22/05	235,79	70,00
23/05	202,56	80,12
24/05	199,20	145,75
25/05	183,96	174,50
26/05	254,65	126,00
27/05	214,82	-17,00
28/05	229,16	-127,88
29/05	215,65	16,63
30/05	260,17	102,38
31/05	245,42	76,13
01/06	202,52	0,38
02/06	205,42	72,88
03/06	208,68	-23,63
04/06	183,88	-19,88

QUADRO 2 - Médias Diárias Semanais do Fluxo de Calor Latente para os Lisímetros Irrigados (A e C) e os Não-Irrigados (B e D), no Período de 15/05 a 04/06 de 1987. Viçosa-MG

Fluxo de Calor Latente Médio ($\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$)		
Data	Lisímetros Irrigados	Lisímetros Não-Irrigados
14/05 - 21/05	179,32	182,94
21/05 - 28/05	236,55	226,39
28/05 - 04/06	246,75	249,78

A evapotranspiração de equilíbrio foi determinada por meio da utilização dos componentes do balanço de energia, e os resultados médios diários semanais encontram-se relatados no Quadro 3.

O Quadro 4 apresenta os valores semanais dos componentes do balanço hídrico para cada lisímetro.

A determinação da capacidade de campo do solo em estudo foi feita em laboratório, utilizando-se o método da curva de retenção de umidade (curva característica) para a camada de 0-30 cm de profundidade de solo (Figura 3), cujos valores podem ser vistos no Quadro 5. Segundo BERNARDO (3), a sucção matricial da água considerada como equivalente à capacidade de campo e de 1/10 de atmosfera para solos de textura grossa, e de 1/3 de atmosfera para solos de textura fina. As análises texturais do solo, feitas mediante coleta de amostra até a profundidade de 20 cm, por se tratar da camada de maior

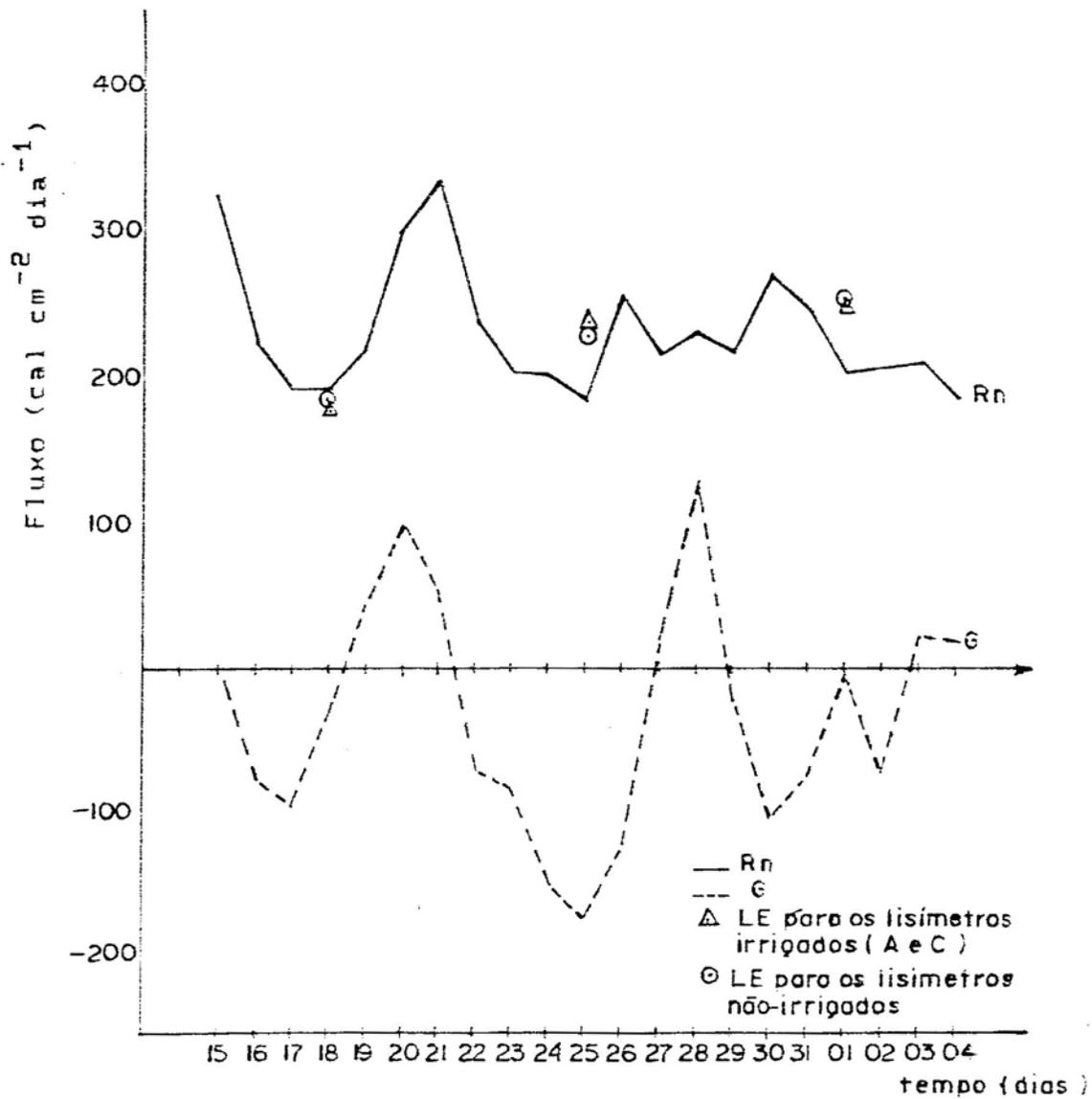


FIGURA 2 - Componentes do Balanço de Energia para os Lisímetros Irrigados (A e C) e os Não-Irrigados (B e D), Valores Médios de R_n e G Diários e Valores Médios de LE Diários na Semana, para o período de 15/05 a 04/06 de 1987. Vicososa-MG

QUADRO 3 - Médias Diárias Semanais de Evapotranspiração de Equilíbrio numa Superfície Cultivada com Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), para o Período de Março/Julho de 1987. Vicososa-MG

Período	Rn estimada pelo balanço de radiação, pelo modelo de Angstrom e B_{gunt} (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	Rn estimado pela equação de regressão (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	G (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	ETeq (cal cm ⁻² dia ⁻¹)	ETeq (mm dia ⁻¹)
02/04 - 09/04	198,98	352,07	-24,03	244,79	4,13
09/04 - 16/04	223,03	394,55	16,97	289,26	4,90
16/04 - 23/04	234,90	416,84	15,04	312,79	5,30
23/04 - 30/04	201,10	353,37	34,29	253,72	4,30
30-04 - 07/05	165,02	285,65	-46,04	149,64	2,54
07/05 - 14/05	152,57	262,27	15,37	187,13	3,07
14/05 - 21/05	147,98	253,65	-1,55	169,88	2,88
21/05 - 28/05	128,54	217,16	64,50	188,32	3,19
28/05 - 04/06	128,66	217,39	32,13	154,80	2,62
04/06 - 11/06	119,20	199,63	3,18	131,37	2,23
11/06 - 18/06	124,88	210,30	-23,55	125,49	2,13
18/06 - 25/06	109,97	182,32	54,24	147,95	2,51
25/06 - 02/07	103,27	196,55	-23,86	104,56	1,77

QUADRO 4 - Valores Semanais do Balanço Hídrico numa Superfície Cultivada com Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa-MG

Data	Percolação (mm) Lisímetros				Variação de umidade (mm) Lisímetros				Precipitação (mm)	Irrigação (mm)	Evapotranspiração (mm) Lisímetros			
	A	B	C	D	A	B	C	D			A	B	C	D
26/03 - 02/04	5,33	5,50	5,06	5,87	-11,03	-10,69	-12,84	-12,64	-	21,50	27,20	26,69	29,28	28,27
02/04 - 09/04	-	51,05	51,95	49,79	40,80	41,42	41,02	42,37	83,35	9,17	0,18	0,05	0,18**	0,36
09/04 - 16/04	12,55	16,03	16,43	11,83	-28,74	-31,75	-30,16	-26,24	-	-	16,19	15,72	13,73	14,41
16/04 - 23/04	6,83	7,40	5,05	7,29	- 4,10	- 1,56	1,42	- 2,54	0,51	25,50	23,28	20,17	19,54	21,26
23/04 - 30/04	4,79	4,64	2,65	5,34	- 3,54	- 3,82	- 5,40	- 6,36	0,31	26,67	26,73	27,16	30,73	29,00
30/04 - 07/05	1,87	1,34	0,82	2,04	1,89	2,03	2,05	1,19	1,81	18,00	16,05	16,44	16,94	16,58
07/05 - 14/05	0,65	0,18	0,06	0,54	8,58	9,59	7,00	7,39	10,96	16,00	17,73	17,19	19,90	19,03
14/05 - 21/05	0,09	-	-	-	- 5,12	- 5,38	- 3,70	- 4,21	16,91	-	21,94	22,29	20,61	21,12
21/05 - 28/05	-	-	-	-	- 5,04	-16,07	- 6,69	-17,25	10,20	12,00*	27,24	26,27	28,89	27,45
28/05 - 04/06	-	-	-	-	-15,36	-16,22	-12,92	-14,95	14,05	-	29,41	30,27	29,14	29,00
04/06 - 11/06	-	-	-	-	-21,97	-29,02	-20,87	-19,95	0,73	-	22,70	29,75	21,60	20,68
11/06 - 18/06	-	-	-	-	11,26	- 7,10	8,82	-16,06	0,45	27,67*	16,86	7,55	19,30	16,51
18/06 - 25/06	-	-	-	-	- 5,91	- 3,04	-12,13	- 5,49	2,98	-	8,89	6,02	15,11	8,47
25/06 - 02/07	-	-	-	-	- 5,43	- 3,90	- 7,40	- 4,21	1,18	-	6,61	5,08	8,58	5,39
02/07 - 09/07	-	-	-	-	- 4,02	- 2,42	- 7,72	- 3,34	-	-	4,02	2,42	7,72	3,34

* Somente os lisímetros A e C foram irrigados.

** Valor estimado (lisímetro A).

QUADRO 5 - Teor de Umidade no Solo (Volume) Correspondente aos Potenciais Determinados para a Profundidade de 0-30 cm

Potencial matricial (MPa)	Teor de umidade (θ_v)
0,0101	57,5
0,0334	47,0
0,1013	43,5
0,5066	33,5
1,0132	29,2
1,5198	27,5

relevância para fins agrícolas (15), podem ser vistas no Quadro 6. A densidade aparente determinada para o solo dos lisímetros foi de 1,04.

Para o tipo de solo estudado cuja textura é argila pesada, com o teor de argila em torno de 77%, a tensão considerada para a capacidade de campo foi de 1/3 de atmosfera (0,03 MPa), e o teor de umidade correspondente foi de 47% (θ).

Pela análise dos resultados contidos no Quadro 4, observa-se que os valores da lâmina de água percolada foram decrescentes no decorrer do desenvolvimento das plantas até que cessou completamente ao final da sétima semana.

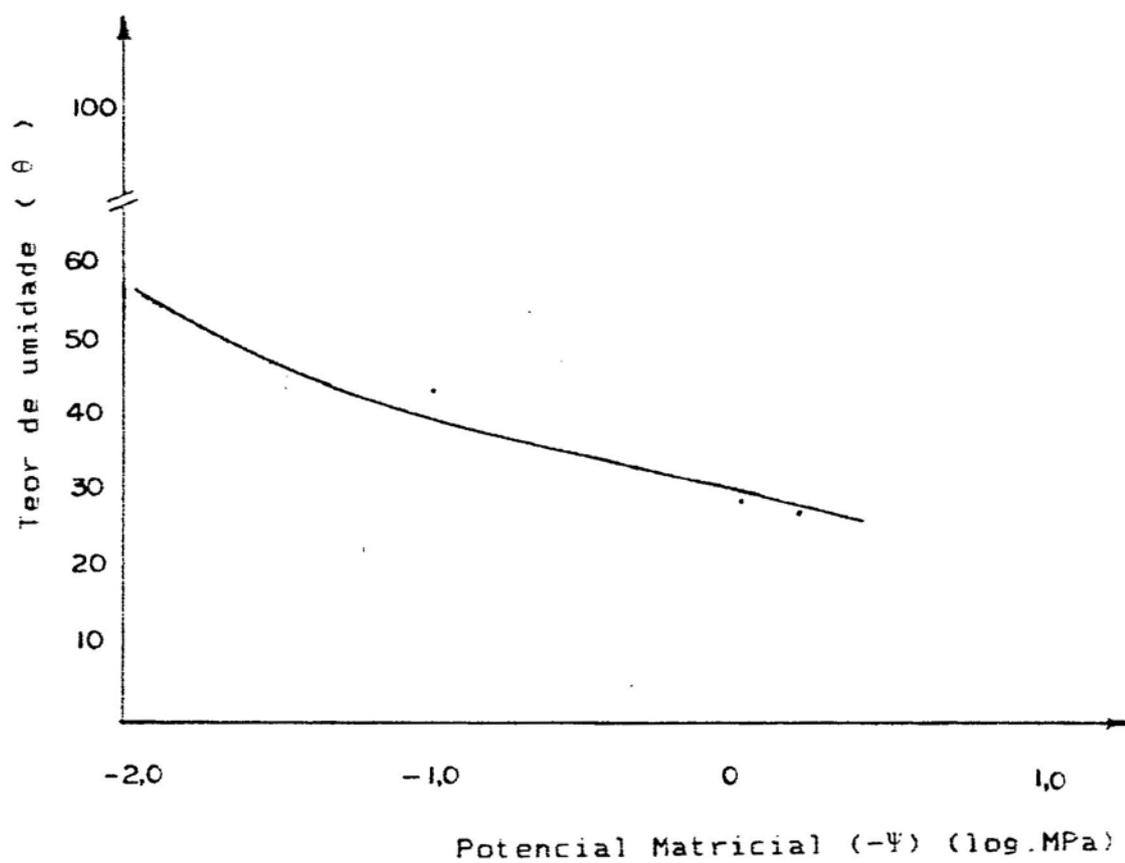


FIGURA 3 - Curva de Retenção de Umidade, Determinada para a Profundidade de 0-30 cm

QUADRO 6 - Análise Textural do Solo do Local do Teste, para a Camada de 0 a 20 cm de Profundidade

Profundidade (cm)	Granulometria (% peso)			Matéria orgânica (% peso)	Material mineral (% peso)
	Argila	Silte	Areia		
0-20	77	18	5	3	97

A precipitação foi mais intensa no estágio intermediário da cultura, e a variação do teor de umidade manteve aproximadamente a mesma tendência em todos os lisímetros durante as oito primeiras semanas, período no qual aplicou-se a mesma lâmina de água de irrigação. A partir da nona semana, foi interrompida a irrigação para os lisímetros B e D, e conservou-se para os lisímetros A e C. Apesar da suspensão da irrigação nos dois lisímetros, o teor de umidade no solo manteve-se elevado em todos os lisímetros, alterando pouco quando comparou-se lisímetros irrigados e não-irrigados, não se apresentando, dessa forma, grandes variações nos resultados finais do balanço hídrico para os diferentes lisímetros.

O valor 0,18 apresentado como resultado da evapotranspiração do lisímetro C para o período de 02/04 a 09/04 foi estimado em função do lisímetro A, que se apresentava nas mesmas condições, uma vez que o valor real não

pôde ser determinado, devido à perda de parte da água percolada no lisímetro C.

Para determinar o parâmetro α de Priestley e Taylor, utilizou-se os dados referentes ao período em que a cultura esteve em pleno crescimento, no qual as condições de evapotranspiração potencial fossem dominantes. Assim, foram definidos três períodos, próximos à metade do ciclo da cultura e, nos quais, o teor de umidade do solo apresentava-se elevado, próximo ao valor da capacidade de campo determinado pela curva de retenção de umidade.

Pela análise dos elementos climáticos coletados no campo para os três períodos correspondentes, constatou-se uma alta umidade relativa do ar, sempre igual ou superior a 85%. A insolação média diária apresentou-se relativamente baixa, correspondendo a 4,5 horas/dia, o que equivale a uma alta nebulosidade. A precipitação manteve-se regular, com dois a três dias de intervalo. As médias diárias de velocidade do vento mostraram-se baixas, sendo que os maiores valores médios diários observados foram de 2,0 m/s.

Dessa forma, as condições climáticas observadas permitiram uma boa caracterização da evapotranspiração de equilíbrio.

Os Quadros 7 e 8 apresentam os valores do parâmetro α de Priestley e Taylor determinados para cada período e um valor médio para os três períodos.

Pela análise dos valores do Quadro 7, observa-se que o teor de umidade do solo apresentou-se bastante elevado nos três períodos para todos os lisímetros, próximos ao teor de

QUADRO 7 - Valores do Parâmetro de Priestley e Taylor Determinados para os Períodos de 14/05 a 21/05, 21/05 a 28/05 e 28/05 a 04/06

Lisímetro	Teor de umidade (θ_v)	Evapotranspiração potencial média diária (PLE) (mm)	Evapotranspiração de equilíbrio média diária p/ todos os lisímetros (mm)	Valores de α
14/05 - 21/05				
A	43,88	3,13		1,09
B	43,98	3,18	2,88	1,16
C	44,28	2,94		1,02
D	44,01	3,02		1,05
21/05 - 28/05				
A	44,78	3,89		1,22
B	44,32	3,75	3,19	1,18
C	44,58	4,13		1,29
D	44,81	3,92		1,23
28/05 - 04/06				
A	45,87	4,20		1,60
B	44,04	4,32	2,62	1,65
C	45,72	4,16		1,59
D	43,92	4,14		1,56

QUADRO 8 - Valores Médios do Parâmetro α de Priestley e Taylor para os Três Períodos Considerados

Valores de α para cada lisímetro				
Data	A	B	C	D
14/05 - 21/05	1,09	1,10	1,02	1,05
21/05 - 28/05	1,22	1,18	1,29	1,23
28/05 - 04/06	1,60	1,65	1,59	1,58
Média	1,30	1,31	1,30	1,29

umidade correspondente à capacidade de campo (47%), caracterizando-se, assim, a evapotranspiração potencial da cultura para os três períodos.

Verificou-se também o aumento da evapotranspiração potencial média diária (PLE) com o desenvolvimento da cultura para todos os lisímetros, e os valores de α apresentaram uma tendência crescente do primeiro para o terceiro período. Tal fato foi consequência do aumento, em parte, da rugosidade da superfície com o desenvolvimento da cultura e, em parte, pelo aumento da interceptação das precipitações pluviais, portanto, maior a atuação do termo aerodinâmico da equação.

Para as condições do experimento em questão, o valor médio de α encontrado, correspondente a 1,30, mostrou-se bastante próximo ao valor médio de α determinado por Priestley e Taylor. Portanto, espera-se que a evapotranspiração de equilíbrio, juntamente com o valor de α em torno de 1,30,

comporte-se de maneira satisfatória para a determinação da evapotranspiração de superfícies úmidas e próximo à capacidade de campo.

Considerando-se uma margem de erro experimental de $\pm 10\%$, valores semanais de evapotranspiração real e de equilíbrio foram apresentados para um total de nove semanas. Tal relação pode ser observada na Figura 4. A margem de erro correspondente a 10% foi considerada em razão de possíveis erros experimentais que possam ter ocorrido. O comportamento dos lisímetros irrigados apresentou-se bastante próximo dos não-irrigados. Tal fato foi observado pela alta capacidade de retenção do solo do experimento que apresenta textura fina, pela freqüente precipitação e pela diminuição da demanda de água no processo de evapotranspiração no estágio final da cultura, mantendo, dessa forma, taxas de evapotranspiração bastante próximas para os lisímetros irrigados e não-irrigados.

Apesar da importância de se especificar as taxas de evaporação de superfícies úmidas e moderadamente secas, um método mais geral capaz de calcular a evaporação de superfícies com diferentes teores de umidade é desejável. Nesse caso, o coeficiente α do modelo de Priestley e Taylor pode ser apresentado como uma função da umidade do solo e é designado por α' .

Na tentativa de determinar α' , foram utilizados os valores de variação do teor de umidade do solo na camada de 0-10 cm de profundidade, uma vez que, quando comparados aos das camadas de 0-20 cm, as diferenças encontradas foram muito

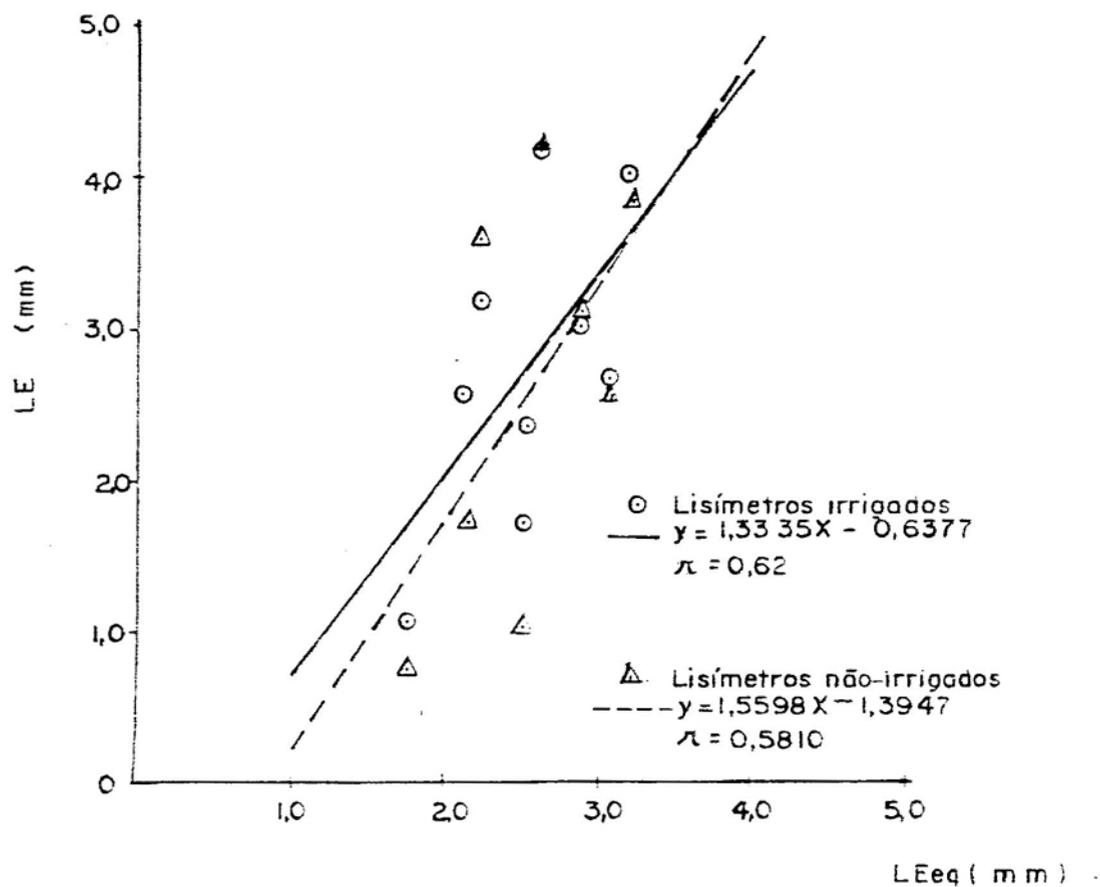


FIGURA 4 - Relação Entre Evapotranspiração Real e Evapotranspiração de Equilíbrio Semanais, para os Lisímetros Irrigados (A e C) e Não-Irrigados (B e D)

pequenas, consideradas desprezíveis. Além disso, verifica-se que as primeiras manifestações da diminuição do teor de umidade no solo são observadas nos primeiros centímetros de solo.

Como os menores valores de umidade no solo foram registrados no período final do experimento, nas quatro últimas semanas utilizou-se os valores de umidade do solo, assim como os correspondentes valores de α' observados.

Mesmo durante o período não-irrigado, no final do ciclo da cultura o solo encontrava-se com alto teor de umidade, apresentando uma relação SSM/SSM_f sempre superior a 77% , onde SSM representa a umidade média do solo, determinada em campo, e SSM_f a umidade do solo na capacidade de campo, determinada por meio da curva característica, correspondente a 47% (α). Conseqüentemente, os altos teores de umidade no solo não permitiram a caracterização de uma fase mais seca e, portanto, a determinação de uma equação capaz de relacionar o valor de α' com o teor de umidade no solo.

O Quadro 9 apresenta os valores de α' e os respectivos teores de umidade do solo para os quatro períodos considerados. Foram utilizados dados dos lisímetros irrigados e não-irrigados, uma vez que as condições de umidade no solo eram bem semelhantes. Observa-se uma grande variação dos valores de α' , desde 1,91 até 0,34, em função do decréscimo gradativo dos valores da evapotranspiração, determinados por intermédio do balanço hídrico no final do ciclo da cultura e pela variação dos elementos climáticos à medida que se aproximava o inverno.

QUADRO 9 - Valores de α' para os Períodos Considerados

Data	Lisímetro	Evapotranspiração média (mm) diária	Evapotranspiração de equilíbrio média di- ária no período p/ todos os lisímetros (mm)	α	$\frac{SSM}{SSM_f}$
04/06 - 11/06	A	3,24	2,22	1,46	0,88
	B	4,25		1,91	0,85
	C	3,09		1,39	0,89
	D	2,95		1,34	0,87
11/06 - 18/06	A	2,41	2,31	1,13	0,92
	B	1,08		0,51	0,80
	C	2,76		1,30	0,93
	D	2,36		1,11	0,81
18/06 - 25/06	A	1,27	2,51	0,51	0,89
	B	0,86		0,34	0,78
	C	2,16		0,86	0,88
	D	1,21		0,48	0,79
25/06 - 02/07	A	0,94	1,77	0,55	0,87
	B	0,73		0,41	0,77
	C	1,23		0,69	0,85
	D	0,77		0,44	0,78

As Figuras 5 e 6 representam a relação entre os valores de α e α' com $LE/(R_n + G)$. Em ambos os casos, os resultados apresentaram-se extremamente bem correlacionados. Segundo DAVIES e ALLEN (4) e WILSON e ROUSE (25), o valor de $LE/(R_n + G)$, equivalente a 0,84, corresponde ao limite inferior para a ocorrência de evapotranspiração potencial.

A análise da Figura 5 demonstra que o valor médio de $LE/(R_n + G)$ para as três semanas no estágio intermediário do ciclo da cultura apresentou-se próximo de 0,84, com um valor médio de α estimado pela equação de regressão próximo a 1,30. O valor encontrado apresentou-se bastante próximo ao valor de 1,26, determinado por Priestley e Taylor.

No período mais seco, correspondente às quatro últimas semanas (Figura 6), a razão $LE/(R_n + G)$ variou desde 0,26 até 1,05, sendo que os menores valores apresentaram-se nas duas últimas semanas, quando os valores de LE já se apresentavam bastante baixos. Uma comparação desta curva com um gráfico similar apresentado por WILSON e ROUSE (25) mostra que metade dos valores de α' apresentou-se na faixa "muito seca" com relação à umidade do solo especificada em sua publicação, e a outra metade apresentou-se na faixa "úmida", com valores de $LE/(R_n + G)$ próximos a 0,84. Embora esse fato tenha sido observado, não podemos atribuir os baixos valores de $LE/(R_n + G)$ ao baixo teor de umidade no solo, mas sim ao fato da cultura se encontrar no estágio final com pequena faixa de evapotranspiração, pois mesmo nesta fase altos valores de umidade no solo foram observados. Apesar da grande variação dos valores de α' , não foi possível ajustar uma equação que

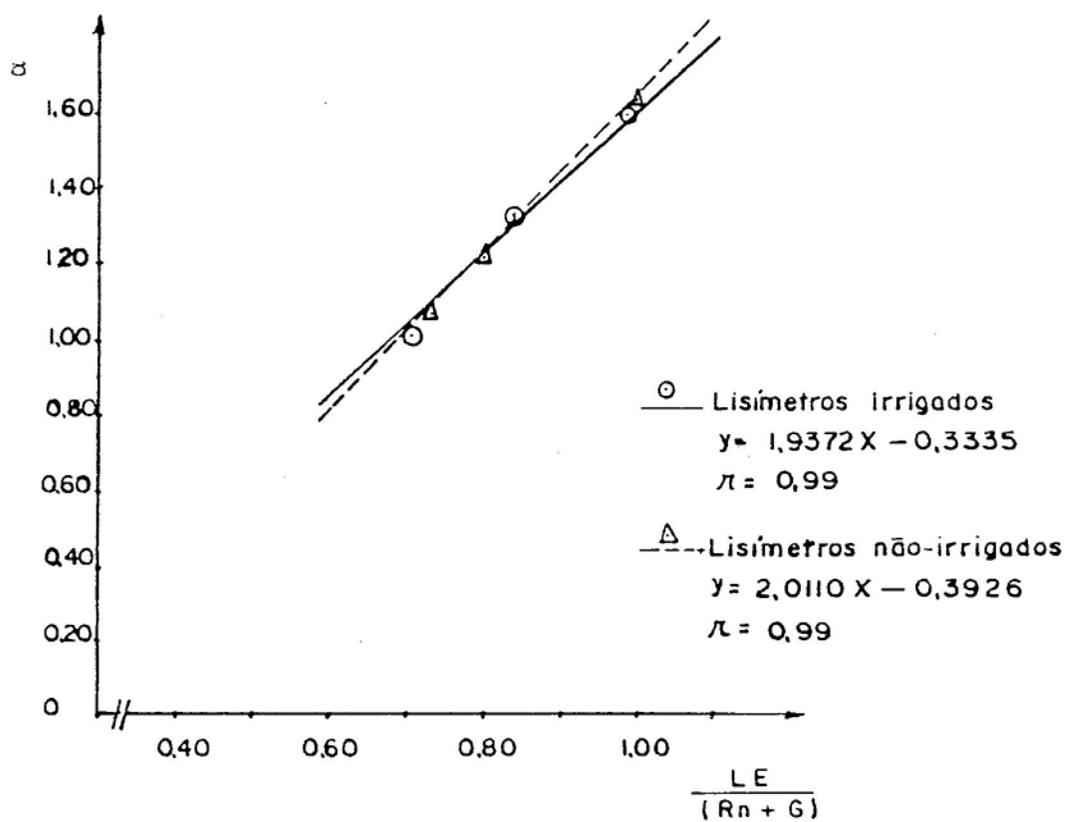


FIGURA 5 - Equação de Regressão Entre os Valores do Parâmetro α e $LE/(Rn + G)$ para os Três Períodos Utilizados no Cálculo do Valor Médio de α , para Lisímetros Irrigados e Não-Irrigados

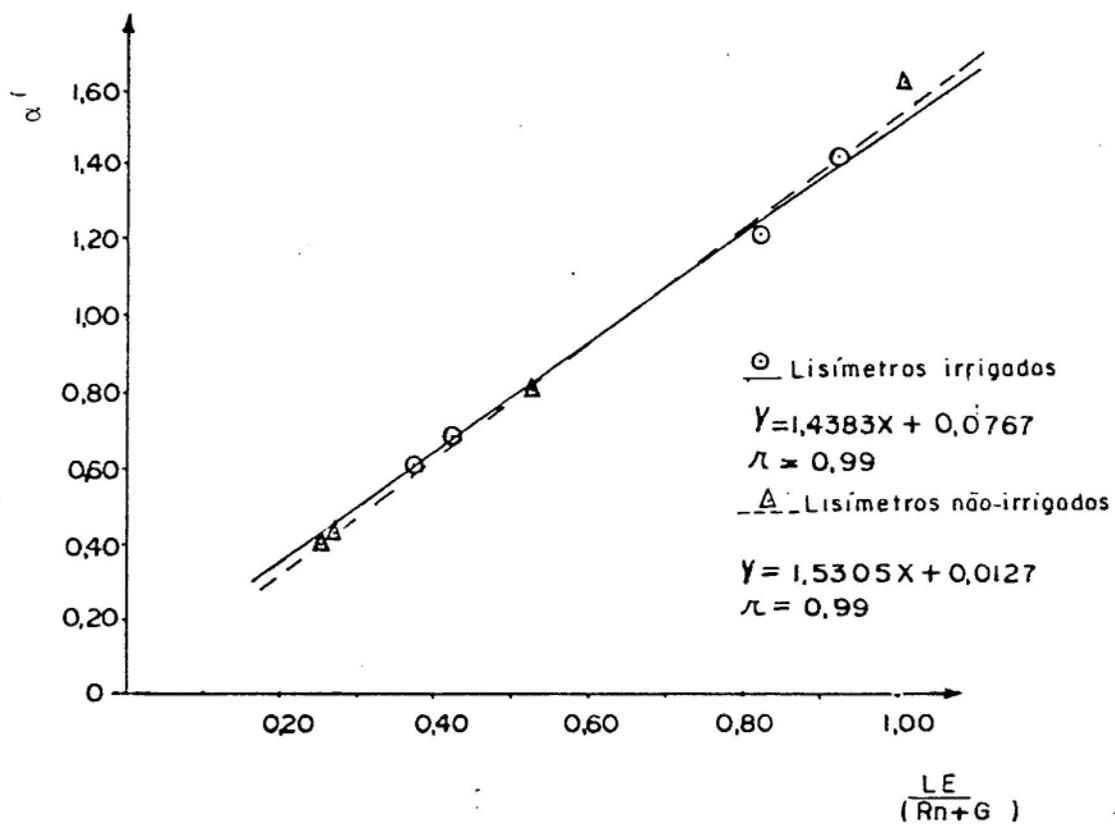


FIGURA 6 - Equação de Regressão Entre os Valores do Parâmetro α' e $LE/(Rn + G)$ para Período mais Seco, para os Lisímetros Irrigados e Não-Irrigados

relacionasse e umidade do solo, uma vez que o teor de umidade no solo manteve-se elevado.

A interpretação das possíveis variações do parâmetro em função do teor de umidade no solo foi realizada através da suspensão da irrigação para dois lisímetros (B e D), após a oitava semana do experimento. Os lisímetros A e C continuaram sendo irrigados normalmente. Assim trabalhou-se com resultados coletados nas quatro últimas semanas do ciclo da cultura e observou-se que as regressões testadas para o teor de umidade no solo (SSM/SSM_f) e os correspondentes valores do parâmetro apresentaram-se bastante baixos quando trabalhou-se com lisímetros irrigados (A e C), uma vez que para tais lisímetros o menor valor encontrado para a relação SSM/SSM_f foi de 88%. Dessa forma, como a umidade do solo manteve-se sempre alta, próxima à capacidade de campo, o parâmetro manteve-se praticamente constante dentro desse intervalo de teor de umidade.

Para os lisímetros não-irrigados (B e D), obteve-se melhor correlação, correspondente a 88%, uma vez que ampliou-se um pouco a variação do teor de umidade no solo. Mesmo assim, o menor valor encontrado para a relação SSM/SSM_f foi de 77%, sendo considerado ainda um alto teor de umidade no solo. Portanto, para as condições nas quais o experimento foi conduzido, não pode ser verificada a influência da variação do teor de umidade no solo sobre o parâmetro, uma vez que as condições potenciais mantiveram-se praticamente durante todo o experimento.

Conforme foi demonstrado no Quadro 8, a análise dos resultados da variação do valor do parâmetro α em função dos diferentes espaçamentos de plantio utilizados nos lisímetros demonstrou que praticamente não houve influência nos resultados finais encontrados, quando comparou-se plantios do feijão com espaçamentos de 0,50 e 0,40 cm entre fileiras (lisímetros A e B e lisímetros C e D).

5. RESUMO E CONCLUSÕES

O presente trabalho foi realizado na Estação Evapotransporimétrica do Departamento de Engenharia Agrícola, no "Campus" da Universidade Federal de Viçosa, Município de Viçosa-MG, com coordenadas geográficas de 20°45'S de latitude, 42°51'W de longitude e 651 m de altitude, no período de 26 de março a 2 de julho de 1987. A coleta dos dados foi realizada diariamente às 7:00 horas.

O estudo foi realizado em área experimental constituída por uma bateria de quatro lisímetros de percolação, tipo Thornthwaite e Mather, com 6,0 m² de área e profundidade efetiva de 0,75 m. Um dos lados dessa área apresenta um gramado (Paspalum notatum L.), onde se encontra instalada uma estação agrometeorológica.

Na área experimental foi utilizada a cultura do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) variedade Negrito 897. Em dois lisímetros (A e B) empregou-se espaçamento de 0,50 m entre fileiras e deixando, após desbaste, 10 plantas por metro linear. Nos outros dois lisímetros (C e D), empregou-se

espaçamento de 0,40 m entre fileiras, deixando, após desbaste, oito plantas por metro linear, mantendo-se assim a mesma população de plantas em todos os lisímetros.

A irrigação suplementar foi do tipo aspersão manual, adotando-se a eficiência de 100%. A lâmina de irrigação foi baseada no valor da ET_o , o que corresponde ao valor da evaporação medida no tanque Classe A (EU) multiplicada pelo coeficiente do tanque (K_p). Para dois lisímetros (A e C) foi estabelecido um regime de irrigação que os mantivessem próximos à capacidade de campo, e para os outros dois (B e D) foi suspensa a irrigação em torno de 56 dias após o plantio.

A determinação da variação do teor de umidade no solo foi feita mediante o uso de tensiômetros e células de Colman utilizadas no manejo da irrigação e determinação de umidade pelo método-padrão de estufa, utilizada no balanço hídrico.

Inicialmente determinou-se os componentes do balanço de energia para o cálculo de evapotranspiração de equilíbrio (LE_{eq}). A determinação da evapotranspiração potencial (PLE) foi feita mediante o balanço hídrico do solo nos lisímetros.

A análise dos resultados obtidos para o valor do parâmetro α para os três períodos estudados durante o ciclo da cultura revelou um valor médio de α em torno de 1,30 para as condições de experimento. Esse valor apresentou-se bastante próximo ao apresentado por Priestley e Taylor ($\alpha = 1,26$), derivado de dados obtidos de superfícies sem restrição hídrica e cultivadas com azevém, feijão, trigo e reservatórios naturais da água. Tal fato sugere que a estabilidade do

parâmetro α para superfícies sem restrição hídrica pode ser largamente aplicável.

Os diferentes espaçamentos utilizados não influenciaram na determinação do valor médio de α .

Tanto a variação do teor de umidade do solo quanto os diferentes espaçamentos utilizados não influenciaram na determinação do valor médio de α .

O teor de umidade no solo manteve-se sempre elevado (superior a 77% da capacidade de campo) até o final do experimento, caracterizando, assim, condições de solo sem restrição hídrica e impedindo a avaliação da influência do teor de umidade do solo sobre a variação do valor de α .

A utilização do modelo de Priestley e Taylor é mais confiável em áreas úmidas, todavia ainda não foi adequadamente testado em regiões áridas. Considerando-se que o modelo utiliza dados meteorológicos facilmente acessíveis, seria, portanto, aconselhável a realização de outros trabalhos em regiões mais secas e em diferentes tipos de solo, onde fosse possível obter menores teores de umidade no solo, com o intuito de verificar sua influência sobre a variação do valor do parâmetro α .

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. BARTON, I. J. A parameterization of the evaporation from nonsaturated surfaces. Journal of Appl. Meteorology. 18:43-7, 1979.
2. BERLATO, M. A. & MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, IPAGRO, 95 p. 1981. (Boletim técnico n^o 7.)
3. BERNARDO, S. Manual de Irrigação. Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. 488 p.
4. DAVIES, J. A. & ALLEN, C. D. Equilibrium, potential and actual evaporation from cropped surfaces in Southern Ontario. Journal of Appl. Meteorology. 12:649-57, 1973.
5. DE BRUIN, H. A. R. & KEIJMAN, J. Q. The Priestley - Taylor evaporation model applied to a large shallow lake in the Netherlands. Journal of Appl. Meteorology. 18:898-903, 1979.
6. DOORENBOS, J. & PRUITT, W. D. Guidelines for predicting crop water requirements. Rome, FAO, 1974. 144 p. (Irrigation and Drainage Paper 24.)
7. JENSEN, M. A. ed Consumptive use of water and irrigation water requirements. Techn. Committee on Irrigation Water Requirements, Irrigation and Drainage Div. ASCE, 215 p. 1973.

8. JURY, W. A. & TANNER, C. B. Advective modification of the Priestley and Taylor evapotranspiration formula. Agronomy Journal. 67:840-2, 1975.
9. KANEMASU, E. T.; STONE, L. R.; POWERS, W. L. Evapotranspiration model tested for soybean and sorghum. Agronomy Journal. 68:840-2, 1975.
10. MARSH, P.; ROUSE, W. R.; WOO, W. K. Evaporation at a high Arctic site. Journal of Appl. Meteorology. 20:713-6, 1981.
11. PENMAN, H. L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proceedings Royal Society. Serie A, 193:120-45, 1948.
12. PRIESTLEY, C. H. B. & TAYLOR, R. J. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. Monthly Weather Review. 100:81-92, 1972.
13. REICHARDT, K. Processos de transferência do sistema Solo-Planta-Atmosfera. Piracicaba, Centro de Energia Nucleo-Ar, na Agricultura, 1975. 286 p.
14. ROUSE, W. R. & STEWART, R. B. A simple model for determining evaporation from high latitude upland sites. Journal of Appl. Meteorology. 11:1063-70, 1972.
15. SANDANIELLO, A. Estudo do ciclo diário do regime térmico do solo de Viçosa-MG, sob três condições de cobertura. Viçosa, Imprensa Universitária, 1983. 79 p. (Tese de Mestrado.)
16. SHOUSE, P.; JURY, W. A.; STOLZY, L. H. Use of deterministic and empirical models to predict potential evapotranspiration in an advective environment. Agronomy Journal. 72:994-8, 1980.
17. STEWART, R. B. & ROUSE, W. R. A simple method for determining the evaporation from shallow lakes and ponds. Water Resource Research. 12:623-8, 1976a.

18. STEWART, R. B. & ROUSE, W. R. Substantiation of the Priestley and Taylor parameter $\alpha = 1,26$ for potential evaporation in high latitudes. Journal of Appl. Meteorology. 16:649-50, 1977.
19. TANNER, C. B. & JURY, W. A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. Agronomy Journal. 68:239-43, 1976.
20. THOMPSON, J. R. Energy budgets for three small plots - substantiation of Priestley and Taylor's large scale evaporation parameter. Journal of Appl. Meteorology. 14:1399-401, 1975.
21. THORNTWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. Geogr. Rev., 38:55-94, 1948.
22. VAN BAVEL, C. H. M. Changes in canopy resistance to water loss from alfalfa induced by soil water depletion. Agricultural Meteorology, vol. 4, n^o 3, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, The Netherlands, May 1976, pp. 165-176.
23. VIEIRA, C. Cultura do feijão. Viçosa, Imprensa Universitária, 1978. 146 p.
24. WILLIAMS, R. J.; BROESMA, K.; VAN RYSWYK, A. L. Equilibrium and actual evapotranspiration from a very dry vegetated surface. Journal of Appl. Meteorology. 17:1827-32, 1978.
25. WILSON, R. G. & ROUSE, W. R. Moisture and temperature limits of the equilibrium evapotranspiration model. Journal of Appl. Meteorology. 11:436-42, 1972.

APENDICE

QUADRO 1A - Médias Diárias do Saldo de Radiação para Superfície Cultivada com Feijão (Phaseolus vulgaris L.), Medidas Diretamente no Campo

Data	Rn (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)
14/04	334,93
15/04	252,97
16/04	351,01
22/04	278,28
23/04	393,66
24/04	231,91
25/05	407,53
05/05	275,87
06/05	316,52
07/05	325,93
12/05	175,40
14/05	358,15
19/05	200,17
20/05	288,69
26/05	224,22
27/05	240,06
02/06	262,14
03/06	266,42
09/06	200,29
10/06	378,86
16/06	218,36
23/06	112,79
25/06	173,95
30/06	157,69
01/07	310,02
02/07	296,21
07/07	201,18
08/07	205,33
09/07	188,17

QUADRO 2A - Médias Diárias de Evapotranspiração de Equilíbrio numa Superfície Cultivada com Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), para o Período Março/julho de 1987. Viçosa-MG

Data	Rn estimado pelo balanço de radiação (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	Rn estimado pela equação de regressão (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	G (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ET _{eq} (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ET _{eq} (mm.dia ⁻¹)
30/03	270,80	484,22	27,50	348,80	5,91
31/03	283,59	508,23	-2,50	354,36	6,01
01/04	233,02	413,30	-97,50	217,43	3,69
02/04	269,24	481,29	-87,25	280,75	4,76
03/04	269,24	481,29	-87,25	280,75	4,64
04/04	139,05	236,90	103,75	240,36	4,07
05/04	138,50	235,86	106,50	266,01	4,51
06/04	129,79	238,28	10,88	196,18	3,33
07/04	217,91	384,93	-90,25	207,93	3,52
08/04	254,57	453,75	-135,88	215,55	3,65
09/04	243,78	433,50	-76,00	306,77	5,20
10/04	185,95	324,94	18,38	249,93	4,24
11/04	228,28	404,40	50,50	331,53	5,62
12/04	223,79	395,97	61,13	315,72	5,35
13/04	233,93	415,01	78,38	343,30	5,82
14/04	217,67	384,48	33,5	292,21	4,95
15/04	220,87	390,49	-61,63	224,22	3,80
16/04	250,74	446,56	-61,50	267,92	4,54
17/04	215,13	379,71	-35,88	250,59	4,25
18/04	293,99	527,75	28,88	416,36	7,06
19/04	247,45	440,39	70,0	407,60	6,91
20/04	209,05	368,30	24,88	279,83	4,74
21/04	237,09	420,94	21,25	304,93	5,17
22/04	207,38	365,17	2,00	249,64	4,23
23/04	234,24	415,59	-5,88	280,61	4,76
24/04	204,62	359,98	48,63	286,02	4,85
25/04	219,39	387,71	73,63	305,54	5,18
26/04	224,68	397,64	26,88	289,86	4,91
27/04	225,58	399,33	26,13	290,50	4,92
28/04	217,85	384,82	8,00	208,67	3,54
29/04	178,54	311,03	11,88	207,02	3,51
30/04	137,02	233,09	44,88	188,46	3,19

(Continua ...)

QUADRO 2A, Cont.

Data	Rn estimado pelo balanço de radiação (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	Rn estimado pela equação de regressão (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	G (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ET _{eq} (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ET _{eq} (mm.dia ⁻¹)
01/05	128,19	216,51	-6,63	120,49	2,04
02/05	156,67	269,97	-91,63	17,50	0,30
03/05	181,83	317,20	-125,13	139,83	2,37
04/05	187,55	327,94	-73,00	179,40	3,04
05/05	151,97	261,15	-27,63	165,64	2,81
06/05	170,03	295,05	16,50	219,83	3,73
07/05	178,90	311,70	-14,75	204,78	3,47
08/05	201,05	353,28	5,25	243,48	4,13
09/05	155,57	267,91	141,63	286,96	4,86
10/05	112,36	186,79	179,00	242,26	4,11
11/05	111,28	184,77	86,75	176,81	2,30
12/05	118,42	198,17	-64,13	98,73	1,67
13/05	185,45	324,00	-143,25	113,78	1,93
14/05	183,83	320,96	-97,63	147,91	2,51
15/05	184,25	321,75	-8,63	183,52	3,11
16/05	132,20	224,04	64,75	195,80	3,32
17/05	115,08	191,90	93,63	198,41	3,36
18/05	114,93	191,62	32,63	152,03	2,58
19/05	128,24	216,60	-40,5	118,73	2,01
20/05	172,03	298,81	-95,25	142,49	2,42
21/05	189,10	330,85	-57,50	198,20	3,36
22/05	138,46	235,79	70,00	222,43	3,77
23/05	120,76	202,56	80,12	183,55	3,11
24/05	118,97	199,20	145,75	249,09	4,22
25/05	110,85	183,96	174,50	237,41	4,02
26/05	148,51	254,65	126,00	231,21	3,92
27/05	127,29	214,82	-17,00	131,02	2,22
28/05	134,93	229,16	-127,88	63,50	1,08
29/05	127,73	215,65	16,63	156,07	2,65
30/05	151,45	260,17	102,38	231,23	3,92
31/05	143,59	245,42	76,13	204,31	3,46
01/06	120,74	202,52	0,38	117,62	1,99
02/06	122,28	205,42	72,88	167,12	2,83
03/06	124,02	208,68	-23,63	110,47	1,87
04/06	110,81	183,88	-19,88	96,76	1,64
05/06	132,14	223,92	-63,38	97,08	1,65

(Continua ...)

QUADRO 2A, Cont.

Data	Rn estimado pelo balanço de radiação (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	Rn estimado pela equação de regressão (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	G (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ET _{eq} (cal.cm ⁻² .dia ⁻¹)	ET _{eq} (mm.dia ⁻¹)
06/06	136,08	231,32	-82,38	87,88	1,49
07/06	103,33	169,84	-68,88	63,40	1,07
08/06	104,82	172,64	24,50	151,88	2,57
09/06	115,04	191,82	71,50	179,03	3,03
10/06	124,53	209,64	108,63	206,65	3,50
11/06	118,46	198,24	32,25	133,64	2,27
12/06	138,79	236,41	-68,88	98,84	1,68
13/06	140,64	239,88	-144,25	64,84	1,10
14/06	143,16	244,61	-90,50	110,59	1,87
15/06	121,81	204,53	3,88	145,01	2,46
16/06	124,95	210,43	61,38	197,17	3,34
17/06	100,20	163,97	69,25	149,84	2,54
18/06	104,63	172,28	4,25	112,17	1,90
19/06	117,64	196,70	4,13	91,70	1,55
20/06	112,90	187,81	2,13	124,16	2,10
21/06	116,45	194,47	24,13	141,94	2,41
22/06	111,82	185,78	-23,13	120,20	2,04
23/06	113,80	189,50	61,38	162,90	2,76
24/06	98,66	161,08	162,88	204,68	3,47
25/06	98,55	160,87	148,13	190,04	3,22
26/06	112,44	186,94	74,50	157,91	2,68
27/06	14,35	190,53	-74,25	68,47	1,16
28/06	115,78	193,21	-97,88	54,0	0,92
29/06	102,67	168,60	-26,75	89,08	1,51
30/06	105,95	174,76	0,00	114,24	1,94
01/07	128,30	216,72	-9,38	122,79	2,08
02/07	143,40	245,06	-33,25	125,43	2,13

QUADRO 3A - Médias Diárias de Temperatura do Ar, Utilizadas no Cálculo do Fluxo de Calor do Solo (G)

Data	(°C)	Data	(°C)	Data	(°C)
29/03	21,26	03/05	20,28	07/06	17,50
30/03	20,94	04/05	21,20	08/06	17,80
31/03	20,71	05/05	21,74	09/06	17,01
01/04	20,99	06/05	21,75	10/06	16,37
02/04	22,26	07/05	21,41	11/06	14,84
03/04	22,74	08/05	22,05	12/06	15,73
04/04	21,94	09/05	21,31	13/06	16,21
05/04	20,66	10/05	19,21	14/06	18,61
06/04	19,81	11/05	17,73	15/06	18,02
07/04	20,44	12/05	17,48	16/06	18,54
08/04	21,61	13/05	19,01	17/06	16,80
09/04	23,16	14/05	20,34	18/06	17,5
10/04	23,13	15/05	20,96	19/06	16,71
11/04	22,79	16/05	20,52	20/06	17,07
12/04	22,12	17/05	19,67	21/06	16,67
13/04	21,57	18/05	18,64	22/06	16,59
14/04	20,55	19/05	19,01	23/06	17,13
15/04	20,90	20/05	19,45	24/06	15,36
16/04	21,79	21/05	20,92	25/06	13,87
17/04	22,13	22/05	20,60	26/06	12,40
18/04	22,50	23/05	19,52	27/06	12,38
19/04	21,55	24/05	19,00	28/06	13,88
20/04	21,10	25/05	16,60	29/06	14,34
21/04	21,06	26/05	15,51	30/06	14,2
22/04	20,68	27/05	14,08	01/07	14,34
23/04	21,02	28/05	15,85	02/07	14,60
24/04	20,80	29/05	16,64	03/07	15,01
25/04	20,04	30/05	15,52	04/07	15,80
26/04	19,32	31/05	14,59	05/07	16,44
27/04	19,51	01/06	14,00	06/07	16,64
28/04	18,80	02/06	14,59	07/07	15,83
29/04	19,35	03/06	15,45	08/07	15,65
30/04	18,56	04/06	15,06	07/07	15,27
01/05	18,45	05/06	15,85	10/07	15,41
02/05	18,70	06/06	16,43		

QUADRO 4A - Valores de $\Delta / (\Delta + \gamma)$, observando-se que o Valor da Constante Psicrométrica γ para Viçosa-MG Corresponde a $\gamma = 0,612 \text{ mb. } ^\circ\text{C}^{-1}$

Data	$\Delta / (\Delta + \gamma)$	Data	$\Delta / (\Delta + \gamma)$	Data	$\Delta / (\Delta + \gamma)$
30/03	0,6818	03/05	0,7280	06/06	0,5900
31/03	0,7007	04/05	0,7037	07/06	0,6280
01/04	0,6885	05/05	0,7093	08/06	0,7704
02/04	0,7125	06/05	0,7056	09/06	0,6799
03/04	0,7274	07/05	0,6896	10/06	0,6493
04/04	0,7056	08/05	0,6791	11/06	0,5798
05/04	0,7770	09/05	0,7007	12/06	0,5900
06/04	0,7874	10/05	0,6623	13/06	0,6780
07/04	0,7056	11/05	0,6512	14/06	0,7176
08/04	0,6781	12/05	0,7366	15/06	0,6958
09/04	0,8581	13/05	0,6295	16/06	0,7254
10/04	0,7280	14/05	0,6623	17/06	0,6425
11/04	0,7288	15/05	0,5861	18/06	0,6354
12/04	0,6907	16/05	0,6780	19/06	0,4566
13/04	0,6958	17/05	0,6949	20/06	0,6537
14/04	0,6991	18/05	0,6780	21/06	0,6493
15/04	0,6818	19/05	0,6742	22/06	0,7390
16/04	0,6958	20/05	0,7000	23/06	0,6493
17/04	0,7288	21/05	0,6958	24/06	0,6318
18/04	0,7480	22/05	0,7274	25/06	0,6150
19/04	0,7986	23/05	0,6493	26/06	0,6040
20/04	0,7117	24/05	0,7221	27/06	0,5888
21/04	0,6896	25/05	0,6623	28/06	0,5666
22/04	0,6799	26/05	0,6074	29/06	0,6280
23/04	0,6849	27/05	0,6623	30/06	0,6537
24/04	0,7000	28/05	0,6270	01/07	0,5922
25/04	0,6623	29/05	0,6719	02/07	0,5922
26/04	0,6828	30/05	0,6378	03/07	0,6150
27/04	0,6828	31/05	0,6354	04/07	0,6354
28/04	0,5312	01/06	0,5797	05/07	0,6040
29/04	0,6411	02/06	0,6005	06/07	0,6150
30/04	0,6780	03/06	0,5970	07/07	0,6255
01/05	0,5741	04/06	0,5900	08/07	0,6742
02/05	0,0981	05/06	0,6047	09/07	0,6255
				10/07	0,5561

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)