

VARIAÇÃO SAZONAL NA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE PLANTAS JOVENS DE LIMA ÁCIDA 'TAHITI'

Cláudio Ricardo da Silva¹; José Alves Júnior¹; Tonny José Araújo da Silva¹; Marcos Vinícius Folegatti¹; Luis Fernando de Souza Magno Campeche²

¹*Departamento de Engenharia Rural, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, csilva@esalq.usp.br*

²*Departamento de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Sergipe*

1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a variação sazonal diária e horária na evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' sob condições de campo. O estudo foi conduzido em Piracicaba, durante o inverno de 2003 e verão de 2004. Utilizou-se um lisímetro de pesagem eletrônica de 2,7 m de diâmetro e 0,8 m de profundidade com uma planta de dois anos de idade, localizado no centro da área experimental com 322 plantas. Todas as plantas do pomar foram irrigadas por quatro gotejadores autocompensantes, inclusive a do lisímetro. Os resultados permitiram verificar que no período de verão a média da evapotranspiração da cultura (ETc) foi de 1,50 mm dia⁻¹ decrescendo a 0,66 mm dia⁻¹ nos meses de inverno. O coeficiente de cultivo (Kc) médio obtido foi de 0,36 e 0,22 durante o período de verão e inverno, respectivamente. A ETc máxima para o período de inverno ocorreu às 14:00 h enquanto que no verão foi às 12:00 h. Além disso, ocorreram perdas por evaporação diária noturna de 17,4 % e 13,4% da ETc para o período de inverno e verão respectivamente. A curva de evaporação do solo (Ke) foi semelhante em ambos os períodos estudados.

UNITERMOS: citros, lisímetro, coeficiente de cultivo, demanda hídrica

SILVA, C. R. da; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, T. J. A. da; FOLEGATTI, M. V.; CAMPECHE, L. F. de S. M.; SEASONAL VARIATION IN EVAPOTRANSPIRATION OF YOUNG 'TAHITI' ACID LIME TREES

2 ABSTRACT

The objective of this study was to investigate seasonal variations in hourly and daily evapotranspiration (ETc) of acid lime 'Tahiti' trees under field conditions, defining values of crop coefficients. The study was carried out in Piracicaba, Brazil, during the winter of 2003 and the summer of 2004. A weighing lysimeter of 2.7 m diameter and 0.8 m depth was planted with a two-year-old tree that was located at the center of an experimental area with 322 trees. The lysimeter tree was irrigated, like others in the plot, by four pressure compensated emitters. The average ETc was 1.50 mm day⁻¹ in the summer and dropped to 0.66 mm day⁻¹ in winter months. The average seasonal crop coefficient (Kc) was 0.36 and 0.22 for summer and winter, respectively. The maximum Etc time was at noon in the summer and at 2 pm in the winter. Moreover, night soil evaporation represented 17.4% and 13.4% of

Recebido em 08/10/2004 e aprovado para publicação em 04/08/2005

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2006v11n1p26-35>

daily ET_c in winter and summer. The soil evaporation curve (K_e) in both seasons showed similar results.

KEYWORDS: citrus, lysimeter, crop coefficient, water requirements

3 INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo se destaca como uma das principais regiões produtoras de citros do mundo. Apesar de apresentar uma precipitação pluviométrica anual suficiente é comum à ocorrência de períodos com déficit hídrico provocando quebras de produção. Em função disso, a opção pela técnica de irrigação é uma medida economicamente viável desde que feita de maneira criteriosa.

O conhecimento da evapotranspiração (ET_c) e do coeficiente de cultivo (K_c) é fundamental para se outorgar, dimensionar e manejar a irrigação de uma cultura. Uma vez que estes valores variam conforme a disponibilidade energética do local, variedade e idade da planta, é importante à obtenção de valores regionalizados.

Nas condições climáticas do Estado de São Paulo, Machado et al. (2000) verificaram queda na atividade fotossintética e transpiração nos citros no período de inverno. Sendo assim, é provável que se possa trabalhar com valores de K_c menores neste período, economizando água e evitando a perda de nutrientes via lixiviação.

Diferentes técnicas têm sido testadas para se determinar a evapotranspiração da cultura, como o método do balanço hídrico do solo proposto por Jensen (1973) e descrito por Reichardt (1990). De maneira mais simplificada, Jackson et al. (1977) propuseram a medida da evapotranspiração baseada na diferença de temperatura da planta. No entanto, diversos autores reportam o uso de lisímetros de pesagem como ferramenta padrão em estudos de perda de água das culturas, seja na determinação da evapotranspiração, como também na calibração de modelos agrometeorológicos de estimativa (Campeche, 2002; Silva Et Al., 1999; Howell et al., 1991)

A grande maioria das informações quanto ao consumo hídrico das plantas cítricas, via lisimetria, provêm da literatura internacional (Green ; Bruwer, 1979; Boman, 1994; Ginestar ; Castel, 1994; Castel, 1997; González-Altozano Et Al. 1999, 2000; Yang et al. 2003).

Os objetivos deste estudo foram determinar a evapotranspiração de plantas jovens de lima ácida 'tahiti' em Piracicaba, durante o inverno e verão, definindo valores de coeficiente de cultivo (K_c) e verificar sua variação sazonal da evapotranspiração diária e horária.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Fazenda Areão da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" -ESALQ/USP, em Piracicaba, SP (22°42' de latitude sul e 47°30' de longitude oeste com uma altitude de 546 m). A temperatura média anual é de 21,4°C, e o total anual de chuva é de 1257 mm (Sentelhas ; Pereira, 2000). O experimento foi conduzido durante o inverno/2003 (84 dias, de 10/06/2003 a 22/09/2003) e verão/2004 (49 dias, de 22/12/2003 a 20/03/2004). A temperatura, a umidade relativa média e a precipitação total durante a condução do experimento foram de 18,9°C, 62,9% e 43,50 mm no inverno e 23,8°C, 72,5% e 615,50 mm no verão. O solo da área experimental é classificado como Nitossolo vermelho segundo a classificação brasileira de solos (Embrapa, 1999). A

capacidade de água disponível no solo foi de 100 mm m^{-1} para uma densidade média de 1300 kg m^{-3} . Estes valores foram determinados com amostras indeformadas coletadas a cada 0,2 m até 1,0 m de profundidade, em trincheiras abertas em três pontos na área.

As limeiras ácidas ‘Tahiti’ (*Citrus latifolia* Tanaka), enxertadas sobre plantas de citromeleiro ‘Swingle’ [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf. x *C. paradisi* Macf.], foram plantadas em espaçamento 7x4 m, obtendo-se um total de 322 plantas em uma área experimental de aproximadamente 1 ha. Foram plantadas em sulcos na primeira quinzena de maio de 2001, sendo a calagem e adubação realizadas de acordo com van Raij et al. (1992). Os tratos culturais consistiram de pulverizações com inseticidas, roçagem e controle químico nas entrelinhas. O sistema de irrigação utilizado no pomar foi gotejamento, com quatro emissores autocompensantes por planta, com vazão de 4 L h^{-1} cada, em turno de rega de 2 a 4 dias para reposição da água evapotranspirada.

Para determinação da evapotranspiração da cultura (ETc) foi utilizado um lisímetro de pesagem eletrônica, localizado no centro da área experimental, contendo uma planta com as mesmas características e sob o mesmo sistema de manejo das plantas externas. O lisímetro apresentava as dimensões de 2,7 m de diâmetro e 0,8 m de profundidade, com 0,250 kg de exatidão (Figura 1). Maiores detalhes sobre a construção e a calibração deste equipamento podem ser obtidos em Campeche (2002). O peso do lisímetro foi continuamente registrado a cada segundo por meio de células de carga acoplada a um sistema automático coletor de dados “data logger” e sua variação de massa registrada a cada hora.



Figura 1. Lisímetro com área de $5,72 \text{ m}^2$. Dezembro de 2003.

A evapotranspiração da cultura (ETc), em milímetros de água, foi obtida pela diferença entre a massa atual e a anterior do lisímetro, dividida pelo espaçamento da cultura (28 m^2), descontadas as chuvas, irrigações e as drenagens ocorridas no período, de acordo com a Equação (1)

$$ETc = \frac{M_i - M_{i-1} - D + P.A + I}{A}$$

(1)

em que:

ETc - Evapotranspiração da cultura, mm período⁻¹

M_i - Massa atual do lisímetro, kg

M_{i-1} - Massa do lisímetro no tempo anterior, kg

A - Espaçamento da cultura, m²

D - Drenagem, kg

P - Precipitação, mm

I - Irrigação, kg

Na ETc horária, consideraram-se os valores médios de massa. Para a ETc diária foi considerado apenas o valor instantâneo, registrado a meia-noite de cada dia, quando o elemento meteorológico vento era nulo ou fraco (<1,5m s⁻¹). Valores inconsistentes foram detectados e descartados especialmente em dias com chuva, sugerindo que a quantidade de chuva efetivamente coletada pelo lisímetro foi diferente da registrada pelo pluviômetro, distante 70 m do lisímetro. Problema similar na determinação da ETc ocorreu com Castel (1997) e Green et al. (1984).

Um segundo lisímetro de pesagem foi utilizado para a determinação da evaporação do solo (Ev). Suas dimensões eram de 1,6 m de diâmetro e 0,7 m de profundidade, com exatidão de 0,156 kg. Com esse lisímetro foi possível determinar um coeficiente de evaporação do solo (Equação 2) em função de dias após a chuva e ou irrigação, representada pela relação entre a evaporação do solo (mm) e a ETo (mm) a partir do maior intervalo entre de chuvas sucessivas ocorrido em cada período (50,4 mm no verão e 16,3 mm no inverno), possibilitando a correção do Kc para cultivo sob irrigação tradicional (aspersão) sob qualquer frequência de molhamento. A evaporação diária foi obtida pela diferença de peso obtida a meia-noite, descontando as chuvas e as drenagens ocorridas no período.

$$Ke = \frac{Ev}{ETo}$$

(2)

em que:

Ke - Coeficiente de evaporação do solo

Ev - Evaporação do solo, mm dia⁻¹

ETo - Evapotranspiração de referência, mm dia⁻¹

A estimativa da Evapotranspiração de Referência (ETo) foi obtida pelo método de Penman-Monteith parametrizado por Allen et al. (1998) com base nos dados climáticos armazenados por uma estação agrometeorológica automática, distante 70 m dos lisímetros.

Para certificar de que o crescimento da planta do lisímetro era similar as demais plantas do pomar foi feita uma avaliação fitométrica no final do período de inverno (12/09/2003), consistindo de medidas da altura, perímetro do caule (0,05 m acima do ponto de enxertia) e diâmetro da copa da planta do lisímetro e em 10 plantas externas (Tabela 1). O volume da copa foi calculado usando o procedimento descrito por Hutchinson (1977).

Tabela 1. Medidas fitométricas da planta cultivada no lisímetro e de plantas cultivadas na área.

Planta	Altura (m)	Diâmetro da copa (m)	Volume da copa (m ³)	Perímetro do caule (m)
Lisímetro	2,40	3,0	5,4	0,23
Pomar ¹	2,74	3,0	6,2	0,29

¹ Valores médios de 10 plantas.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As variações na taxa de ETc estão presentes na Figura 2. Observa-se que houve um padrão sazonal da evapotranspiração. A média de ETc variou entre 1,5 mm dia⁻¹ no verão e 0,66 mm dia⁻¹ no inverno. O máximo valor de ETc foi de 2,12 mm dia⁻¹ (16/01/2004) e o mínimo foi de 0,21 mm dia⁻¹ (25/08/2003). Esta sazonalidade também foi observada por Yang et al. (2003) com valores de 4,4 mm dia⁻¹ no verão e 0,6 mm dia⁻¹ no inverno para plantas de laranja ‘muricote’ sob condições de estufa, porém, relacionadas com a área do lisímetro (1,767 m²). Em estudo semelhante, Castel (1997), utilizando um lisímetro de pesagem com plantas de laranja ‘Clementina’, encontrou que a evapotranspiração relacionada ao espaçamento de plantio (23,1 m²) variou de 0,7 mm dia⁻¹ no inverno e 1,8 a 2,0 mm dia⁻¹ no verão. Considerando que em linceiras ácidas cultivadas em clima tropical não há uma predominância de um estágio fenológico ao longo do ano, pode-se deduzir que, em média, mais de 50 % do volume de água aplicado pela irrigação no inverno pode ser reduzido quando comparado ao período do verão.

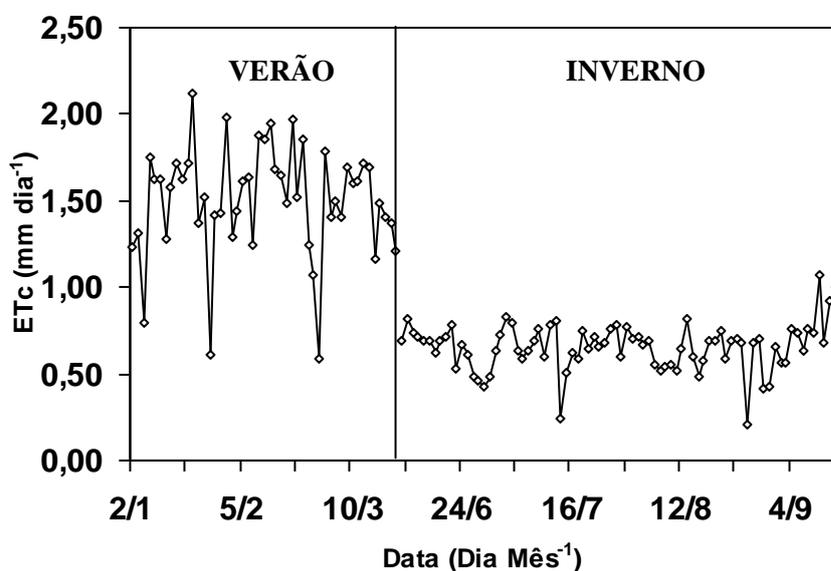


Figura 2. Evapotranspiração diária de lima ácida ‘Tahiti’ durante o período de verão e inverno.

O coeficiente de cultura (Kc) obtido pela regressão linear entre a ETc e ETo foi de 0,36 para o período de verão e 0,22 para o período de inverno (Figura 3A e 3B). Castel (1997)

encontraram valores de 0,2 a 0,7. Boman (1994) relatou que os valores de K_c obtidos via lisimetria na Flórida, em plantas com 3-4 anos de idade ajustados para uma área de 28 m², foram de 0,19 durante o inverno e de 0,34 no verão. Allen et al., (1998) no Boletim da FAO-56 recomendam valores de 0,45, 0,40 e 0,50 para diferentes estádios fenológicos sob mesmas condições obtidas neste trabalho e sob uma evaporação mínima na área total da planta (espaçamento da cultura). Na Figura 2 observa-se ainda que a dispersão dos pontos foi maior no verão, provavelmente devido a ciclos de evaporação do solo dentro do lisímetro, acentuados pela chuva, ainda que a planta recobrisse a área total do lisímetro (Figura 1). Ainda quanto à dispersão encontrada em ambos os períodos analisados, Allen et al., (1998) comentam que podem ser considerados normais e são causados pela variação no clima, direção do vento, erros na determinação da radiação líquida e ET_o .

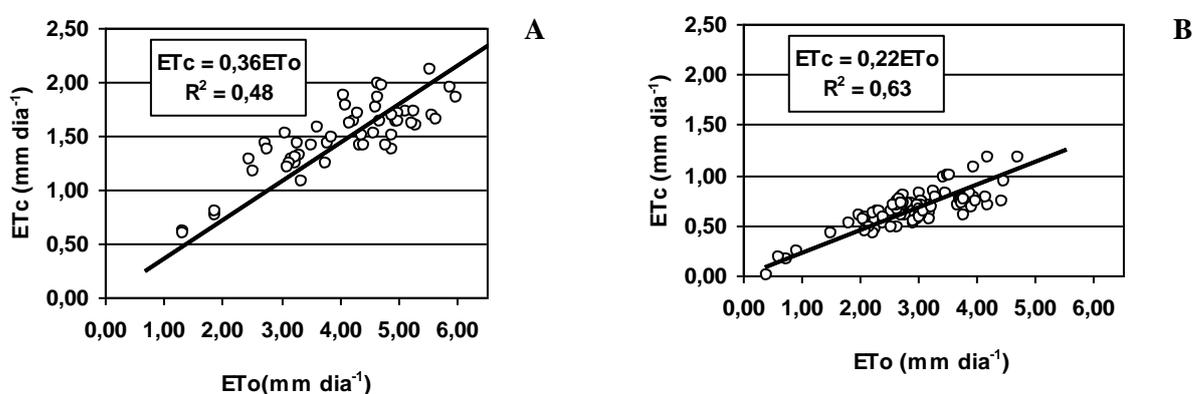


Figura 3. Regressão linear entre a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o) para o período de verão (A) e inverno (B).

A Figura 4 apresenta a variação média horária da ET_c com base em três dias escolhidos em cada período sob condições de baixa evaporação do solo. No verão, a ET_c iniciou-se às 6:00 h (horário local) com os valores aumentando até às 9:00 h, com um decréscimo às 10:00 h, voltando a aumentar com o pico máximo às 12:00 h. De maneira similar, ocorreu um decréscimo acentuado a partir das 13:00 com uma leve diminuição às 17:00 h, sendo nula somente às 23:00 h. Em contraste, no inverno a ET_c iniciou-se somente às 8:00 h aumentando suavemente até o pico às 14:00 h decrescendo após. Interessante notar que ocorreram perdas por evaporação do solo mesmo durante a noite em ambos os períodos, provavelmente, devido ao gradiente térmico do solo, provocado pela diferenças de temperatura no perfil. Apesar da pequena evapotranspiração ocorrida durante o período noturno, esses valores não devem ser negligenciados no somatório da evapotranspiração diária quando se utilizam modelos de estimativas de perda de água e principalmente técnicas de determinação da evapotranspiração. A evaporação noturna, contabilizada a partir do início do saldo-radiômetro apresentou valores negativos, correspondeu a 17,4 % e 13,4% para o período de inverno e verão respectivamente. Pereira (1998), trabalhando com lisímetro de pesagem para determinação da evapotranspiração de referência, afirma que em média 15% da evapotranspiração diária é ocorrida durante o período noturno. Yang et al. (2003) comentam que estas variações também são provocadas pela demanda atmosférica, sendo esta maior no verão.

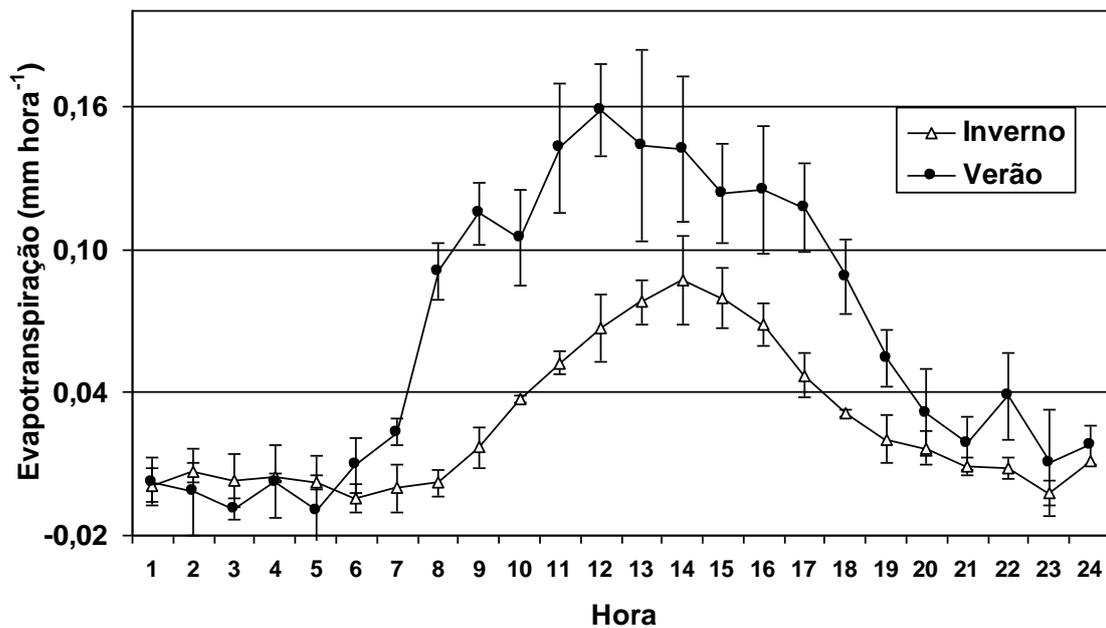


Figura 4. Evapotranspiração da cultura horária para os períodos de verão e inverno. Pontos representam o valor médio de 3 repetições e as barras verticais o erro padrão da média

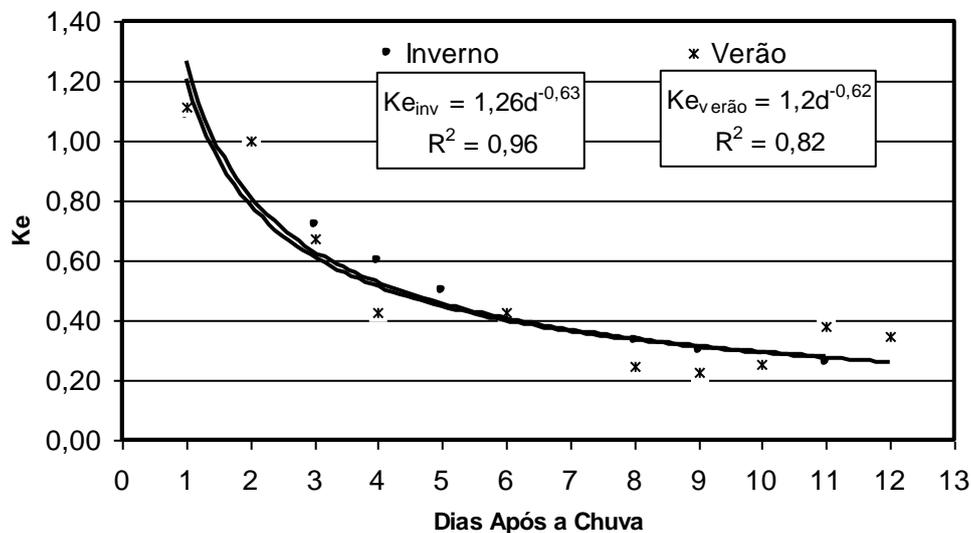


Figura 5. Curvas de evaporação do solo (K_e) em função da ETo e do número de dias após a chuva no inverno e verão. d : Dias após a Chuva.

Os valores obtidos de K_c neste trabalho somente serão válidos para serem utilizados em irrigação localizada, uma vez que na determinação da E_{Tc} não foi considerada a evaporação do solo para a área correspondente a diferença entre o espaçamento final da cultura e área do lisímetro (28 m^2 e $5,72 \text{ m}^2$, respectivamente). Para a utilização em irrigação em área total (aspersão) faz necessária a correção dos valores de E_{Tc} , acrescentando evaporação do solo correspondente à diferença de área entre o espaçamento da cultura e área do lisímetro. Como a evaporação do solo depende da frequência do molhamento do solo a

quantificação da evaporação pode ser feita através da curva de evaporação do solo (K_e) em função do número de dias após a chuva e/ou irrigação e E_{To} para o período de verão e inverno (Figura 5). Observa-se que o comportamento foi semelhante em ambos os períodos estudados, com os ajustes obtidos de $K_e=1,26 d^{-0,63}$ e $R^2=0,95$ para o inverno e $K_e=1,2 d^{-0,62}$ e $R^2=0,82$ para o verão.

6 CONCLUSÕES

No período de verão a média de E_{Tc} foi de $1,50 \text{ mm dia}^{-1}$ decrescendo a $0,66 \text{ mm dia}^{-1}$ nos meses de inverno. Os valores obtidos de K_c foram de 0,36 para o verão e 0,22 para o inverno.

A E_{Tc} horária também apresentou variações distintas para os períodos analisados. A E_{Tc} máxima para o período de inverno ocorreu às 12:00 horas e para o verão às 14:00 horas.

A evaporação do solo foi semelhante em ambos os períodos estudados e representou 17,4 % e 13,4% para o período de inverno e verão, respectivamente.

7 AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelos recursos financeiros obtidos.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. et al. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, Rome, n.56, p.1-300, 1998.

BOMAN, B.J. Evapotranspiration by young Florida Flatwoods citrus trees. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.120, n.1, p.80-88, 1994.

CAMPECHE, L.F.S.M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* tan.)**. 2002. 62 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CASTEL, J.R. Evapotranspiration of a drip-irrigated clementine citrus trees in a weighing lysimeter. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.449, p.91-98, 1997.

CASTEL, J.R. Response of Young clementine citrus trees to drip irrigation. I. Irrigation amount and number of drippers. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v.69, n.3, p.481-489, 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

GINESTAR, C.; CASTEL, J.R. Responses of Young clementine citrus trees to water stress during different phenological periods. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v.71, n.4, p.551-559, 1996.

GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J.R. Regulated deficit irrigation in “Clementina de Nules” citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Kent, v.74, n.6, p.706-713, 1999.

GONZÁLEZ-ALTOZANO, P.; CASTEL, J.R. Regulated deficit irrigation in ‘Clementina de Nules’ citrus trees. II: Vegetative growth. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Kent, v.75, n.4, p.388-392, 2000.

GREEN, A.E. et al. Evapotranspiration from pasture: a comparison of lysimeter and Bowen ratio measurements with Priestley-Taylor estimates. **New Zealand Journal of Agricultural Research**, Wellington, v.27, p.321-327, 1984.

GREEN, G.C.; BRUWER, W. An improved weighing lysimeter facility for citrus Evapotranspiration studies. **Water South Africa**, Sun City, v.5, n.4, p.185-195, 1979.

HOWELL, T. A.; SCHNEIDER, A.D.; JENSEN, M.E. History of lysimeter design and use for evapotranspiration measurements. In: ALLEN, R.G. et al. (Ed.) **Lysimeter for evapotranspiration and environmental measurements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1991. p. 1-9.

HUTCHINSON, D.J. Influence of rootstock on the performance of ‘Valencia’ sweet orange. In: INTERNATIONAL CITRUS CONGRESS, 2., 1977, Orlando. **Proceedings...** Gainesville, International Society of Citriculture, 1977, p.523-525.

JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements. **Water Resources Research**, Washington, v.13, n.3, p.651-656, 1977.

JENSEN, M.E. (Ed.) **Consumptive use of water and irrigation water requirements**. New York: American Society of Civil Engineers, 1973. 215 p.

MACHADO, C.E. et al. Variação sazonal da fotossíntese, condutância estomática e potencial da água na folha de laranja ‘Valência’. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, n.1, p.53-58, 2002.

PEREIRA, F.A.C. **Desempenho do modelo de Penman-Monteith e de dois evaporímetros na estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) em relação a um lisímetro de pesagem**. 1998. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990, 188 p.

SENTELHAS, P.C.; PEREIRA, A.R. A maior estiagem do século? **Notícias Piracena**, Piracicaba, v. 6, n. 50, p. 1, 2000.

SILVA, F.C.; FOLEGATTI, M.V.; MAGIOTTO, S.R. Análise do funcionamento de um lisímetro de pesagem com célula de carga. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, p.53-58, jan./jun. 1999.

RAIJ, B. van et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 100, p.1-107, 1992.

YANG, L.S.; YANO, T.M.A.; LI, X. Evapotranspiration of orange trees in greenhouse lysimeters. **Irrigation Science**, Berlin, v.21, n.4. p.145 –149, 2003.