

ISSN 0104-1347

Relações entre transpiração máxima, área foliar e evapotranspiração de referência em pomar jovem de lima ácida 'Tahiti'¹

Relationship among maximal transpiration, leaf area and reference evapotranspiration in a young 'Tahiti' lime orchard

Maurício Antonio Coelho Filho², Luiz Roberto Angelocci³; Juan S. Delgado Rojas⁴, Luís Fernando de Souza Magno Campeche⁵ e Marcos Vinícius Folegatti⁴

Resumo: O trabalho teve o objetivo de avaliar a resposta da transpiração máxima (fluxo de seiva) diária à demanda atmosférica, de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' com área foliar variando de 0,17 a 1,1 m². O estudo foi desenvolvido em um pomar de 1 ha localizado no campus "Luiz de Queiroz" da USP, em Piracicaba, SP, entre os meses de outubro de 2001 a março de 2002, iniciando-se quatro meses após o plantio. A evapotranspiração de referência foi determinada com os dados obtidos em uma estação agrometeorológica situada ao lado do pomar. Obteve-se uma relação linear entre a transpiração diária por unidade de área foliar e a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith com padronização da FAO, de Penman, de Priestley-Taylor e do tanque classe A, permitindo assim, a estimativa da transpiração máxima de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' a partir do conhecimento da área foliar e ETo. A transpiração diária estimada pela multiplicação de ETo/2,88 pela área foliar das plantas, mostrou-se em boa concordância com a transpiração expressa pelo fluxo de seiva, quando se usou o método de Penman-Monteith (subestimando em média 6,7%) e de Penman (superestimativa de 5,6%). Com o uso do método de Priestley-Taylor, a superestimativa foi de 9,5%.

Palavras-chave: Fluxo de seiva, balanço de calor, evapotranspiração, citros.

Abstract: The evaluation of the maximal transpiration (daily sap flow) response to atmospheric demand of young 'Tahiti' lime plants with leaf areas ranging from 0.17 to 1.1 m² was the aim of the present study. The research was conducted in a 1 ha orchard at "Luiz de Queiroz" campus-USP, in Piracicaba, SP, during October 2001 and March 2002, beginning four months after planting. The atmospheric demand indicated by the reference evapotranspiration was determined from the data obtained in an agrometeorological station beside the orchard. It was obtained a linear relationship between the daily transpiration per leaf area unity and the reference evapotranspiration estimated by the Penman-Monteith, with FAO standardization, Penman, Priestley-Taylor and Class A pan methods, showing the possibility to estimate, from the leaf area and ETo data, the maximal transpiration of young 'Tahiti' lime plants from leaf area and ETo data. The daily transpiration estimated by the multiplication of the ETo/2.88 and leaf area of the plants showed a good correlation with the daily transpiration indicated by the sap flow, when the Penman-Monteith (underestimating on the average 6.7%) and Penman (overestimating 5.6%) methods were employed. By using the Priestley-Taylor method, the overestimation was 9.5%.

Key words: Sap flow, heat balance, evapotranspiration, citrus

¹ Parte da tese de doutorado do primeiro autor (bolsista da CAPES), apresentada à ESALQ/USP.

² Recém Doutor CNPq, Embrapa Mandioca e Fruticultura. e-mail: macoelho@cnpqm.embrapa.br

³ Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP. Bolsista do CNPq. e-mail: lrangel@esalq.usp.br

⁴ Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP.

⁵ Desenvolvimento Regional CNPq, UFSE.

Introdução

O conhecimento do volume de água utilizado no processo de transpiração é fundamental no manejo de irrigação localizada e fertirrigação, resultando em uma maior eficiência de uso de água e fertilizantes, com redução das perdas por evaporação e por drenagem, garantindo produtividade e redução no risco ambiental. Porém, a quantificação da transpiração de fruteiras em campo é difícil e depende de uma série de fatores, como a disponibilidade hídrica, das condições de demanda atmosférica e fatores ligados à própria planta, como área foliar, geometria de copa e de plantio, que afetam a capacidade de interceptação da radiação solar e a interação com o vento (ANGELOCCI, 1996; VALANCOGNE *et al.*, 2000). A utilização de equipamentos padrões, como lisímetros, para determinação da transpiração é limitada pelo alto custo, principalmente no caso de lisímetros de pesagem, o que dificulta a repetição dos estudos. Esses equipamentos podem, também, apresentar problemas de representatividade e qualidade das leituras, além de apresentarem dificuldades para avaliações em intervalos de tempo inferiores a 24 horas, em função da grande sensibilidade às rajadas de vento, principalmente em fruteiras com elevada rugosidade, como verificado por COELHO FILHO (2002).

O método do balanço de calor no caule (MBC) permite a determinação do fluxo de seiva, cujo valor em escala diária equivale à transpiração em espécies arbóreas. Esse método apresenta as vantagens de não necessitar calibração, de ser não-destrutivo e de possibilitar o monitoramento simultâneo da transpiração em muitas plantas. Porém, como desvantagens, pode-se citar o custo dos sensores comerciais e uma certa complexidade do seu manejo, que dificulta seu uso na grande prática. Portanto, segundo PEREIRA *et al.* (1997), em termos operacionais, em condições de campo, a alternativa mais viável ainda é a estimativa da transpiração utilizando modelos empíricos, desde que apresentem certa confiabilidade.

As variáveis que interferem nas respostas das plantas aos fatores ambientais dificultam a generalização de modelos de estimativas da transpiração, principalmente para culturas perenes. Para tal propósito, são necessários estudos básicos visando a quantificação do consumo de água pelas plantas em sistemas de cultivos variáveis e regiões edafoclimáticas diferenciadas. O método de Penman-

Monteith, considerado padrão pela FAO para medidas de evapotranspiração de referência (ALLEN *et al.* 1998), vem sendo adaptado para estimativa da transpiração em fruteiras. Considera-se, nesse caso, que a planta pode ser representada por uma única folha hipoestomática, sendo necessário o conhecimento do saldo de radiação da copa da planta expresso em energia por unidade de área foliar, bem como das resistências à difusão de vapor da folha e da sua camada limite. Resultados experimentais evidenciam a concordância das estimativas com medidas de fluxo de seiva em kiwi (GREEN *et al.*, 1989), maçã (GREEN & CLOTHIER, 1999), pêra (CASPARI *et al.*, 1993) e videira (YUNUSA *et al.*, 2000). Esse método, adaptado, por incluir em seu modelo as resistências à difusão de vapor é, teoricamente, apropriado para determinação da transpiração em qualquer situação. Porém, a difícil determinação do saldo de radiação da planta e das resistências à difusão de vapor em cada condição específica de cultivo, espécie e idade da cultura, limitam a aplicação desse modelo.

Tem-se tentado estimar a transpiração de frutíferas com o uso de modelos climatológicos de evapotranspiração de referência, que não exigem a determinação direta das duas resistências (VILLA NOVA *et al.*, 1999) ou com a adoção de coeficientes lineares que expressam a relação entre a transpiração escalonada (pela área foliar, cobertura de copa ou radiação absorvida) e a evapotranspiração de referência (ANGELOCCI *et al.*, 1997; BRAUN *et al.*, 2000; VALANCOGNE *et al.*, 2000). Esses modelos permitem uma simplificação na estimativa de transpiração, que fica dependente apenas do conhecimento da área foliar da cultura e da evapotranspiração de referência, mas a aplicação das relações é específica para a espécie e as condições de estudo.

O presente estudo teve como objetivo estudar a transpiração de plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' nas condições de Piracicaba (SP), relacionar as medidas de fluxo de seiva com a demanda atmosférica e a área foliar e a partir desse conhecimento, estabelecer equações que possam ser utilizadas no manejo de irrigação em pomares jovens de citros.

Material e métodos

O trabalho foi desenvolvido nos meses de outubro de 2001 a março de 2002 em um pomar com 1 ha

de lima ácida 'Tahiti', plantado na primeira quinzena de junho de 2001, com espaçamento entre plantas de 7 x 4 metros, sendo as copas do clone IAC 5 enxertadas em citrumelo 'Swingle'. O pomar situa-se no campo experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Rural, localizado na Fazenda Areão, Campus "Luiz de Queiroz" da USP, no município de Piracicaba, SP, nas seguintes coordenadas geográficas: 22° 42' 30" de latitude sul, 47° 30' 00" de longitude oeste e altitude de 546 metros de altitude. O solo na área experimental é classificado como terra roxa estruturada (Alfisol), possuindo uma declividade média de 5%, segundo levantamento planialtimétrico realizado antes da implantação do pomar. O clima da região é o sub-tropical úmido, com média do total anual de chuva de 1278 mm.

Durante o experimento o pomar foi irrigado com sistema possuindo gotejadores (quatro por planta) autocompensável, com vazão de 4 litros hora⁻¹. A aplicação de nitrogênio foi realizada via água de irrigação (fertirrigação) utilizando um sistema de injeção tipo "venturi".

Ao longo do experimento, monitoraram-se os elementos meteorológicos para o cálculo da evapotranspiração de referência na estação agrometeorológica da fazenda Areão. A temperatura do ar foi determinada com termistor e a umidade relativa do ar com um sensor Vaisala, modelo HMP35C em microabrigo a 2 metros acima da grama. A velocidade de vento foi determinada a 2 metros da superfície da grama com sensor marca Met-One, modelo O14A e a radiação líquida (Rn) com sensor da marca REBS, modelo Q7.1 a 1,2 m acima da grama. Os elementos meteorológicos na estação foram coletados a cada segundo, em "datalogger" (CR10X Campbell Sci.), com armazenamento de médias a cada 20 minutos.

Com base nos resultados de COELHO FILHO (2002), assumiu-se que o fluxo de seiva integrado em 24 horas correspondeu à transpiração máxima diária da planta. O fluxo de seiva foi determinado utilizando-se sensores comerciais da marca Dynamax Inc., modelo SAG10-ws, em seis plantas, três delas em lisímetros de pesagem. Os sensores foram conectados a "datalogger" CR10 (Campbell Sci.) com uso de um multiplexador da mesma marca (AM 416 Relay Multiplexer) para ampliação dos canais disponíveis. As leituras foram realizadas a cada segundo e com médias armazenadas a cada 20 minutos.

Os dados obtidos com os sensores permitiram estimar o fluxo de seiva segundo o método do balanço

de calor (SAKURATANI, 1981; BAKER & VAN BAVEL, 1987), pela expressão:

$$F = \frac{P_{in} - Q_v - Q_r}{c_p \Delta T} \quad (1)$$

na qual o total de calor fornecido (P_{in}) é repartido no volume de tronco amostrado em fluxos de calor (W) conduzidos pelo caule acima e abaixo do volume de controle (Q_v) e o fluxo de calor que sai radialmente através do sensor (Q_r). Os fluxos axiais (Q_v) foram estimados considerando-se a condutividade térmica do caule ($0,42 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e os gradientes térmicos nas extremidades inferior e superior do segmento de caule amostrados foram medidos com termopares posicionados acima e abaixo da seção aquecida e em contato com o caule. Os fluxos radiais foram estimados a partir do conhecimento da condutividade térmica do substrato de cortiça do qual é constituído o fluxímetro radial e da diferença de temperatura adjacente ao elemento aquecedor e da superfície externa da cortiça, calculada com uma termopilha com junções alternadas (fluxímetro), anexada ao aquecedor. O fluxo de seiva foi obtido dividindo-se o calor residual pelo calor específico da seiva ($c_p = 4,186, \text{ J g}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e pela diferença de temperatura da seiva entre os limites inferior e superior do segmento aquecido (ΔT).

A transpiração máxima é a que ocorre sob condições de ótima disponibilidade hídrica no solo, isto é, a planta é capaz de expressar todo seu potencial de transpiração nas condições de demanda atmosférica reinantes no local da avaliação. Por isso, a umidade do solo, no presente experimento, foi mantida em condições ótimas ao longo do experimento (lisímetros e plantas do pomar), com manutenção do potencial mátrico do solo com valores maiores que -20 kPa. Os potenciais mátricos foram monitorados com tensiômetros instalados no solo dos lisímetros e a 0,20 m de distância do caule de dez plantas do pomar. Em cada lisímetro, foi instalado um tensiômetro a 0,15 m de profundidade do solo e em cada planta do pomar escolhida, foi instalada uma bateria com quatro tensiômetros a 0,10, 0,20, 0,30 e 0,50 m de profundidade. Da mesma maneira, monitorou-se a umidade do solo no gramado da estação a 0,15 m de profundidade, mantendo o solo sempre úmido, possibilitando a existência de condições para ocorrência de evapotranspiração de referência.

Com os valores de transpiração máxima, foi realizado um estudo no qual foram ajustadas equações

de regressão entre a transpiração máxima por unidade de área foliar ($L\ m^{-2}\ dia^{-1}$) e evapotranspiração de referência (ET_o). Foram testadas, também, relações envolvendo a radiação líquida (R_n grama) e a evaporação do tanque Classe A (ECA).

As medidas de fluxo de seiva foram acompanhadas de medidas periódicas de área foliar total da planta (AFT). O procedimento utilizado no cálculo de AFT partiu da escolha de um dia Juliano representativo de um período de medidas da transpiração máxima e que também fosse representativo de um total foliar da planta, pois, como as plantas eram jovens, o crescimento era intenso. No dia escolhido, foram realizadas medidas não-destrutivas do maior (C) e do menor (L) comprimento de todas as folhas da planta avaliada. Essas medidas foram utilizadas nos cálculos da área foliar de cada uma das folhas de acordo com a expressão $AF = K \cdot C \cdot L$, sendo que o somatório de AF correspondeu à área foliar total da planta. O valor de K utilizado na equação foi de 0,72, conforme COELHO FILHO *et al.* (2003).

Os elementos meteorológicos determinados na estação agrometeorológica, foram utilizados nos métodos de estimativa da evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (ET_o P-M), Penman (ET_o PEN), Priestley-Taylor (ET_o P-T) e com base no tanque Classe A (ET_o TCA).

A ET_o segundo Penman-Monteith foi calculada pela parametrização proposta por ALLEN *et al.* (1998). Os cálculos referentes ao método de Penman e Priestley-Taylor foram realizados conforme PEREIRA *et al.* (1997), com uso do parâmetro de Priestley-Taylor (α) igual a 1,26. Para o cálculo da evapotranspiração a partir das medidas de evaporação do Tanque Classe A segundo DOORENBOS & PRUIT (1977), foi utilizado o coeficiente que reduz a evaporação do tanque classe A para estimativa da ET_o (K_p) de 0,72, considerado adequado para as condições da estação agrometeorológica da Fazenda Areão (SENTELHAS *et al.*, 1999).

VILLA NOVA *et al.* (1999) verificaram que a transpiração de macieiras pode ser estimada a partir da evapotranspiração de referência multiplicada por um fator igual a área foliar da árvore/2,88. Este ajuste significa adotar a aproximação de que a perda de água por unidade de área foliar é igual na árvore e na cobertura padrão definida pela FAO, que para a qual adotou-se o índice de área foliar igual a 2,88. Dessa maneira, o valor assim calculado a partir de ET_o em $mm\ d^{-1}$ representa o volume de água transpirada $L\ d^{-1}$.

Esse procedimento foi adotado neste trabalho e seu desempenho testado por comparação com o fluxo de seiva e avaliada mediante análise regressão, por meio dos coeficientes angulares (b) e de determinação (r^2).

Resultados e discussão

Durante o estudo, foram necessários poucos dias de irrigação do pomar de lima ácida, sendo que a manutenção dos valores de umidade do solo nos níveis estabelecidos exigiu uma maior frequência da irrigação nos lisímetros e na estação agrometeorológica.

Conforme observado, a umidade do solo do pomar e da estação ficou nos patamares preestabelecidos, com poucos dias em que os valores médios registrados atingiram valores inferiores ao estabelecidos (Figura 1). Os dias em que os valores médios de umidade do solo atingiram níveis inferiores a -20 kPa podem refletir tanto o tempo de resposta dos tensiômetros à irrigação como a lenta redistribuição da água no solo.

Existiu uma tendência de aumento do fluxo de seiva com a evolução do tempo de estudo (Figura 2), evidentemente com as variações devido a oscilações dos elementos meteorológicos entre os dias ao longo do estudo. Esse aumento não pode ser explicado pelas variações nas condições de demanda atmosférica, mesmo porque existiu uma diminuição dos valores médios, do ano de 2001 para 2002, de 4,08 para 3,48 mm, mas sim pelo aumento da área foliar e, conseqüentemente, do potencial transpiratório. Espera-se, que para uma mesma condição de demanda atmosférica, plantas com maior área foliar transpirem proporcionalmente mais. Seguindo esse raciocínio, na Figura 3a, os valores de transpiração apresentados na Figura 2 foram separados por classe, cada uma correspondendo a um valor de área foliar total da planta (AFT) e relacionados à evapotranspiração de referência (ET_o P-M).

Observa-se, para uma mesma ET_o, o aumento da transpiração com o acréscimo da AFT, sendo constatada uma tendência linear entre transpiração e demanda atmosférica. Muitos fatores são determinantes na taxa de transpiração de uma planta, dentre os quais citam-se a área foliar, geometria de plantio, espaçamento da cultura, espécie, porta-enxertos, demanda atmosférica e disponibilidade de água. Em

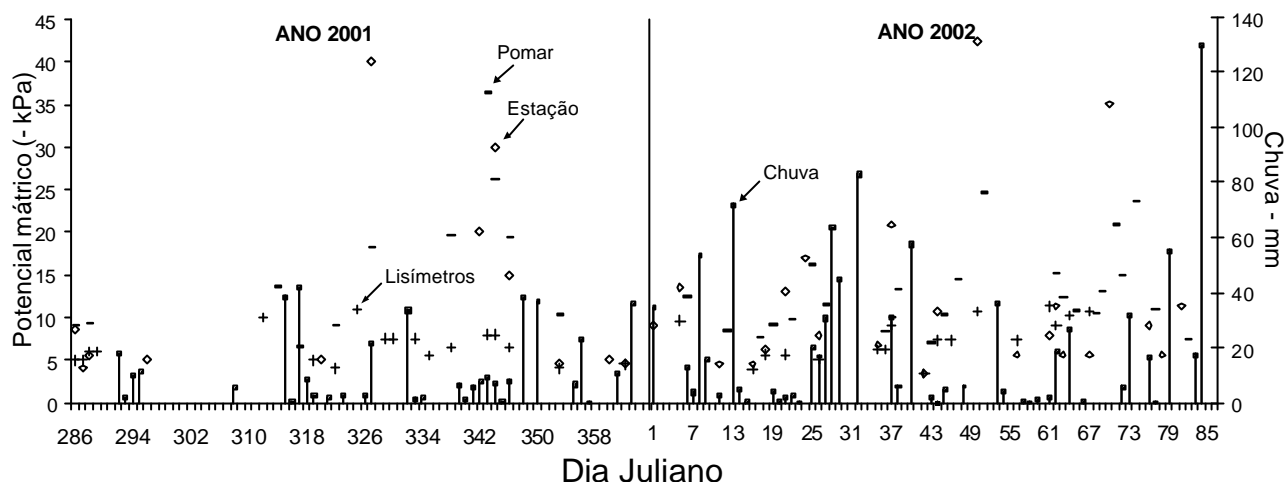


Figura 1. Distribuição de chuvas (colunas) e médias dos valores de potenciais mátricos da água do solo no pomar de lima ácida ‘Tahiti’, lisímetros de pesagem e estação agrometeorológica.

função da gama de variáveis interferindo no processo, espera-se que a angulação das retas mudem com os diferentes fatores.

Os resultados verificados por ANGELOCCI & VALANCOGNE (1993), ANGELOCCI et al. (1997) e BRAUN et al. (2000), para árvores de maçã, e por MARIN et al. (2001), em árvores de lima ácida ‘Tahiti’, indicaram que a transpiração por unidade área foliar (T_r) foi independente do porte das plantas, para uma mesma demanda atmosférica. Esse escalonamento da transpiração utilizando a área foliar facilita a comparação de resultados, pois reduz a variação causada pelo tamanho das árvores e variedades, mesmo para estudos realizados em locais distin-

tos. Dessa forma, a transpiração fica padronizada pela área foliar e, se a mesma relacionar-se linearmente com a demanda atmosférica, poderá ser estimada com base em um modelo climatológico.

Ao escalonar as medidas de transpiração apresentadas na Figura 3a, verifica-se a tendência de linearização das medidas (Figura 3b). Porém, pode ser observada uma dispersão grande dos pontos e alguns agrupamentos pertencentes à mesma classe de AFT. Isso deve decorrer em função das variáveis (ambiente e planta) citadas anteriormente pois, além das plantas serem diferentes e das medidas realizadas em épocas distintas, existem os possíveis erros inerentes ao MBC (Coelho Filho, 2002). Somada à disper-

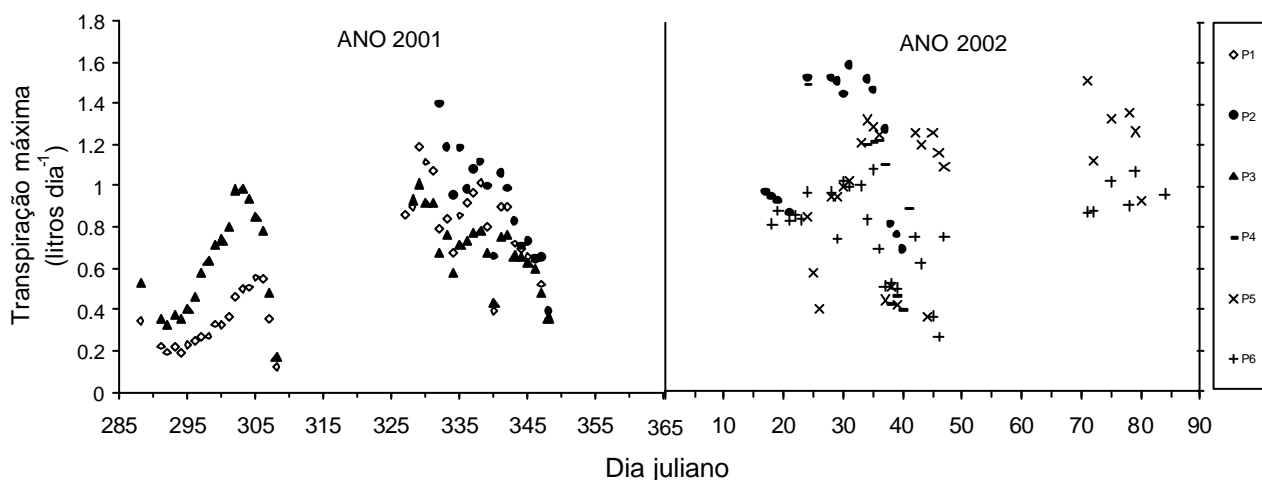


Figura 2. Fluxo de seiva (transpiração máxima) determinado em seis plantas do pomar de lima ácida ‘Tahiti’ (P) no período compreendido de outubro de 2001 a março de 2002, Piracicaba, SP.

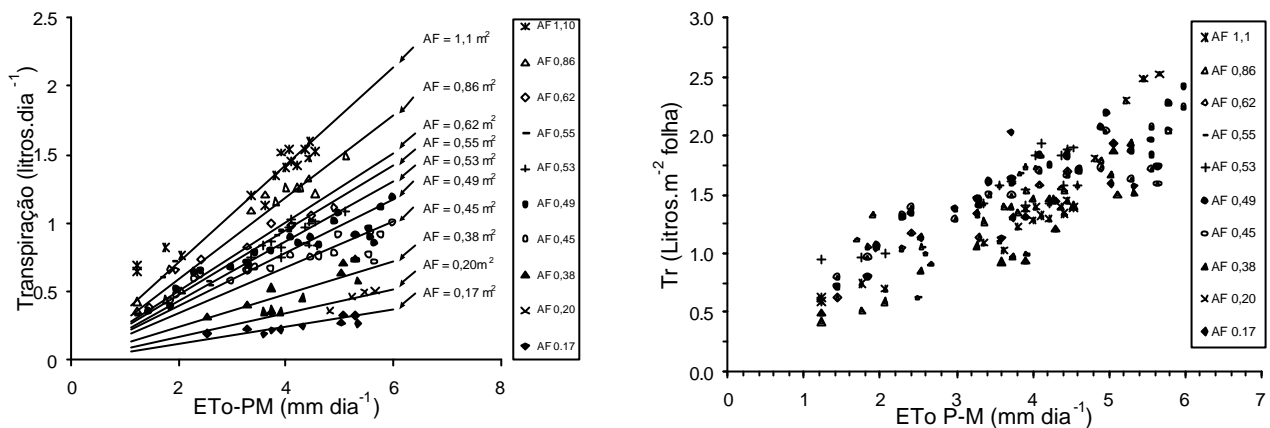


Figura 3. Relação entre transpiração máxima de plantas de lima ácida 'Tahiti', separadas por classes com mesma AFT, e a evapotranspiração de referência ETo P-M.(a) e relação entre transpiração máxima por unidade área foliar de plantas de lima ácida 'Tahiti' e a evapotranspiração de referência (ETo P-M) (b).

são, verifica-se uma leve tendência de mudança da relação Tr versus ETo P-M para o grupo de dados superior a ETo P-M > 2,5 mm, em comparação com o grupo de dados abaixo desse valor.

Para melhor compreensão da dispersão e dessa pequena mudança na relação, são apresentadas as equações lineares da relação entre Tr e ETo P-M da análise individualizada de cada planta avaliada (Tabela 1). Os resultados indicaram correlação linear e um bom ajuste dos pontos à reta, mesmo quando se forçou a passagem da reta pelo zero, salvo os resultados relativos à planta 6, que possuiu o coeficiente de determinação inferior aos demais. Os resultados desta planta relacionam-se ao menor número de medidas realizadas com valores de ETo abaixo de 2,5 mm (3 pontos), sendo esses pontos responsáveis pelo baixo R^2 . Verifica-se que o ajuste à reta aumenta ao se adotar o coeficiente linear (Tabela 1).

O que pode ser discutido, mediante os resultados, é que, mesmo com as inúmeras variáveis que interferem na transpiração, os coeficientes angulares

variaram relativamente pouco, entre 0,34 a 0,39, portanto, um indicativo de que, para plantas jovens de lima ácida 'Tahiti' com AFT variando de 0,17 a 1,1 m², poderá ser adotada uma única equação de estimativa da transpiração máxima, com base no conhecimento de AFT e ETo, como sugerido por VILLA NOVA *et al.* (1999). A mudança de relação entre Tr versus ETo P-M, anteriormente citada, é confirmada pelos coeficientes lineares significativamente diferentes de zero.

Ao se agrupar e relacionar todos os valores de Tr com os de evapotranspiração, verifica-se a manutenção do comportamento discutido anteriormente, quando as planta foram analisadas separadamente (Tabela 2). Comparando os resultados das Tabelas 1 e 2, verifica-se que o agrupamento melhorou um pouco o ajuste dos pontos à reta, sendo o coeficiente de determinação da relação entre Tr e ETo P-M levemente superior à maioria dos encontrados na Tabela 1. É interessante ressaltar que o coeficiente angular encontrado para a relação com ETo P-M foi de 0,38 quando se usou o ajuste passando pelo zero (Tabela 2), muito próximo

Tabela 1. Relações entre a transpiração diária das plantas (P) por unidade de área foliar (Tr) e a evapotranspiração de referência (ETo P-M) obtidas a partir das estimativas de transpiração, utilizando regressões lineares contendo ou não o coeficiente linear.

	Equação: $y = bx$	R^2	Equação: $y = a + bx^*$	R^2
P1	$Tr = 0,3934 ETo P-M$	0,65	$Tr = 0,4213 + 0,3007 ETo P-M$	0,72
P2	$Tr = 0,3566 ETo P-M$	0,64	$Tr = 0,416 + 0,2578 ETo P-M$	0,76
P3	$Tr = 0,3752 ETo P-M$	0,57	$Tr = 0,3772 + 0,2931 ETo P-M$	0,63
P4	$Tr = 0,3374 ETo P-M$	0,71	$Tr = 0,2756 + 0,2367 ETo P-M$	0,75
P5	$Tr = 0,3676 ETo P-M$	0,67	$Tr = 0,208 + 0,3106 ETo P-M$	0,67
P6	$Tr = 0,3909 ETo P-M$	0,25	$Tr = 0,6497 + 0,228 ETo P-M$	0,55

* coeficientes lineares diferentes de zero, ao nível de 1% de probabilidade.

ao obtido por ANGELOCCI et al. (1997) para macieiras adultas. O ajuste dos pontos à reta continuou sendo melhor quando a equação foi composta pelo coeficiente angular e linear.

Os coeficientes angulares das equações variaram em função do método de estimativa da evapotranspiração (Tabela 2). Foi observado também que os coeficientes angulares para a equação composta por ETo P-M e ETo TCA foram similares, tendendo para 0,377. O ajuste de um coeficiente angular, expressando a relação entre Tr e ETo TCA, mesmo ocorrendo uma dispersão grande dos pontos ($r^2=0,12$), é muito importante na prática agrícola em função da grande utilidade do tanque Classe A no manejo de irrigação e pelas dificuldades inerentes aos custos e manutenção dos equipamentos utilizados para determinar os elementos meteorológicos necessários para o cálculo da evapotranspiração com modelos climatológicos apresentados. Ao utilizar apenas o valor de água evaporada pelo tanque Classe A, ganha-se um pouco na qualidade do ajuste, comparada ao termo composto por $K_p \cdot ECA$ (ETo TCA).

Considerando apenas o termo energético (Rn), também foi encontrada uma relação linear, fato este observado por MARIN et al. (2001) ao estudar a transpiração em duas árvores adultas de lima ácida 'Tahiti'. Esses autores encontraram um coeficiente de ajuste (0,089) menor que o encontrado no presente estudo (0,121) para um período úmido do estudo, quando a radiação líquida medida sobre o gramado (Rn grama) variou de 5 a 18,5 MJ m⁻² dia⁻¹ e a temperatura de 21,8 a 26,1°C, dentro da faixa encontrada no presente trabalho. Ao comparar os resultados de Tr do período úmido acima citado, com um seco e frio, sob mesma condição energética, aqueles autores verificaram que a Tr foi inferior neste último período, atribuindo o fato ao regime térmico diferenciado

nos dois períodos, baseando-se em KRIEDMANN & BARRS (1981), que apontam a temperatura do solo como um eficiente regulador da condutividade hidráulica, e portanto da transpiração em plantas cítricas.

MARIN et al. (2001) verificaram, também, que a Tr atingiu um valor máximo de 1,31 L m⁻² dia⁻¹ quando os valores de Rn grama estavam em torno de 16 MJ m⁻² dia⁻¹, diminuindo acima deste limite. Sugeriram, então, que em dias com picos de Rn grama, a absorção energética da árvore foi elevada, mas a capacidade de suprimento de água pelo sistema radicular não foi suficiente para atender a demanda atmosférica.

O primeiro ponto verificado pelos autores, relacionado às reduções da Tr em período frios, não pode ser comparado com os resultados obtidos no presente estudo, visto que o regime térmico registrado foi relativamente constante. Mas, os valores mínimos de Tr (0,29 litros m⁻² dia⁻¹), se aproximam dos observados em árvores adultas por esses autores (0,2 litros m⁻² dia⁻¹), mesmo não ocorrendo os valores mínimos de temperatura registrados no estudo citado.

Com relação ao segundo aspecto, não foi verificado a redução clara nos valores de Tr com o aumento da demanda atmosférica. Observou-se, como discutido anteriormente, uma variação na relação Tr versus ETo P-M, que ocorre a partir de um valor inferior ao encontrado por MARIN et al. (2001), que não pode ser explicada pela incapacidade do sistema radicular em suprir adequadamente água à parte aérea, pois, como observa-se na Figura 9a, existiu uma tendência de crescimento da transpiração com o aumento de Rn grama, mesmo em condições de elevada disponibilidade energética, acima de 16 MJ m⁻² dia⁻¹. A maior relação *raiz:copa* em plantas jovens (CASTEL, 1978) pode explicar a razão de não ter

Tabela 2 Relação entre a transpiração diária por unidade de área foliar (Tr, L m⁻² dia⁻¹) e a evapotranspiração referência (ETo, mm dia⁻¹) determinada por quatro modelos climatológicos diferentes: Penman Monteith (P-M), Penman (PEN) e Priestley e Taylor (P-T) e tanque classe A (ETo TCA). E relação entre a Tr e a evaporação do tanque Classe A (ECA) e a radiação líquida determinada sobre gramado (Rn grama).

Equação: $y = bx$	r^2	Equação: $y = a + bx^*$	r^2
Tr = 0,3764 ETo P-M	0,66	Tr = 0,355 + 0,291 ETo P-M	0,72
Tr = 0,3287 ETo PEN	0,62	Tr = 0,401 + 0,245 ETo PEN	0,72
Tr = 0,3272 ETo P-T	0,63	Tr = 0,292 + 0,266 ETo P-T	0,67
Tr = 0,3777 ETo TCA	0,12	Tr = 0,718 + 0,214 ETo TCA	0,32
Tr = 0,273 ECA	0,19	Tr = 0,6809 + 0,1602 ECA	0,41
Tr = 0,121 Rn grama**	0,59	Tr = 0,3 + 0,0975 Rn grama	0,63

* coeficientes lineares diferentes de zero, ao nível de significância de 1%.

** * radiação líquida MJ m⁻² dia⁻¹.

ocorrido a queda da Tr sob elevada disponibilidade energética.

Outro ponto a se destacar no estudo são os valores máximos de Tr, que atingiram picos de 2,3 litros $m^{-2} dia^{-1}$, bem superior aos observados por MARIN *et al.* (2001). Essas diferenças são plenamente justificáveis, pois plantas adultas de citros possuem um elevado índice de área foliar relativo à parcela de solo na projeção da copa, podendo atingir valores de 9 a 11 dependendo do porta-enxerto utilizado (SYVERTSEN & LLOYD, 1994). Essa característica origina uma grande quantidade de folhas posicionadas na parte interna da copa, que recebem uma menor quantidade de radiação solar devido ao auto-sombreamento e transpiram menos que as mais expostas, contribuindo para redução da Tr. De maneira semelhante, existe o sombreamento entre diferentes árvores do pomar, quando a elevação solar é baixa, que varia com o crescimento das plantas e diminuição do espaçamento de plantio. Essas características justificam o maior valor do coeficiente angular da equação que envolve Rn grama (0,121) para o pomar jovem em comparação ao encontrado por MARIN *et al.* (2001) no período úmido do estudo (0,089).

Apesar de não ter sido verificado, no presente estudo, a redução da Tr com o aumento da demanda atmosférica, a regulação estomática pode explicar a leve queda na taxa de transpiração por unidade área foliar (Tr versus ET P-M) com o aumento da demanda atmosférica.

É importante salientar, que em se tratando de plantas jovens, em pleno crescimento, grande parte das folhas eram novas ou estavam em expansão, apresentando, portanto, menor capacidade de regulação da

perda de água, comparativamente a folhas adultas, pois carecem da rigidez estrutural e não possuem tanta cera cuticular como em folhas maduras (SYVERTSEN, 1982), sendo essa característica, mais um elemento que pode explicar as diferenças das respostas entre as plantas novas e adultas.

Uma outra maneira de se estimar a transpiração em fruteiras foi apresentado por VILLA NOVA *et al.* (1999), encontrando excelente concordância entre os valores de transpiração estimados e o fluxo de seiva de macieiras determinado com o MBC, com vantagens em relação à adaptação do modelo de Penman-Monteith por não necessitar das resistências à difusão de vapor da folha e da camada limite.

O mesmo procedimento foi realizado no presente estudo, comparando-se as estimativas transpiração utilizando os modelos adaptados de Penman, Priestley-Taylor e Penman-Monteith com a transpiração máxima determinada (Figura 4), mostrando bons ajustes lineares em todos os casos. Os resultados revelaram maior concordância ao se utilizar o modelo de Penman (ETo PEN), com superestimativa em relação à transpiração medida de 5,6%, a diferença máxima foi de 9% utilizando o método de Priestley-Taylor (ETo P-T).

Os coeficientes angulares encontrados foram sempre maiores aos observados por ANGELOCCI *et al.* (2000) ao trabalharem com árvores adultas de lima **ácida 'Tahiti'** (área foliar de 36 me 56 m^2), refletindo mais uma vez a maior Tr das plantas jovens. Esses autores encontraram concordâncias variáveis com o valor diário de fluxo de seiva, em função do método de estimativa de ETo e local de observação do dado meteorológico (pomar e estação), sendo a

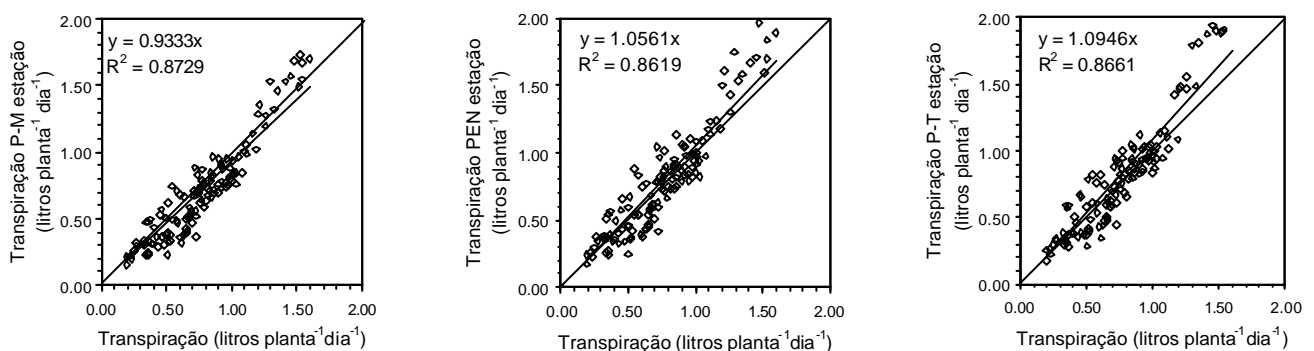


Figura 4. Relação entre a transpiração de plantas de lima **ácida 'Tahiti'** obtidos a partir de modelos de estimativas de evapotranspiração (Penman-Monteith, Penman e Priestley-Taylor) e a transpiração de plantas obtidas a partir do fluxo de seiva integrado (método do balanço de calor).

maior concordância obtida com os dados do pomar, com os dados da estação ocorreu tendência de subestimativa da ordem de 17% em média.

Ressalta-se que esse procedimento metodológico realizado em plantas adultas de lima ácida 'Tahiti' (ANGELOCCI et al., 2000) não conduziu à concordâncias tão boas como as do presente estudo com os dados da estação (referência), sugerindo, para o caso de lima ácida, que esse procedimento não deve ser generalizado para pomares com plantas com áreas foliares diferenciadas.

A utilização das metodologias aqui apresentadas é uma boa alternativa para o manejo de irrigação localizada em plantas jovens de citros, pois eliminam a subjetividade da utilização dos coeficientes de cultura (Kc) e da parcela do terreno coberta pela copa das plantas, como variável de entrada para estimativa da evapotranspiração na metodologia recomendada pela FAO-56 (ALEN et al., 1998). Na metodologia aqui estudada, estima-se a transpiração de plantas individualmente a partir de valores de evapotranspiração de referência e de área foliar da planta (AFT). A maior dificuldade pode estar ligada à AFT, uma variável de difícil medida, principalmente em citros, cuja ordem de grandeza varia de poucos m² podendo chegar a centenas. Em função dos problemas que possam surgir relacionados à generalização de resultados, é importante a continuidade dos estudos nessa linha de pesquisa, avaliando-se plantas com tamanhos variados. Paralelamente, torna-se necessário, a realização de estudos que facilitem a determinação, com qualidade, da AFT de plantas, pois essa é uma variável de entrada para o cálculo da transpiração, afetando diretamente os valores calculados.

Conclusões

A utilização da transpiração escalonada (Tr) pela área foliar total permite o estudo comparativo de plantas com diferentes tamanhos e transpirando em épocas diferentes.

Obteve-se uma relação linear entre a transpiração diária por unidade de área foliar e a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith com padronização da FAO, de Penman, de Priestley-Taylor e do tanque classe A, sendo o pior ajuste com a utilização deste último. A multiplicação da ETo estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque classe A pelo fator 0,377 permite a esti-

mativa da transpiração expressa pelo fluxo de seiva. Para o método de Penman e Priestley-Taylor, o fator foi 0,328.

A transpiração diária estimada pela multiplicação de ETo/2,88 pela área foliar das plantas, mostra-se em boa concordância com a transpiração expressa pelo fluxo de seiva, quando se usa o método de Penman-Monteith e de Penman com os dados meteorológicos da estação, sendo menos concordante com o uso do método de Priestley-Taylor.

Referências bibliográficas

- ALLEN, R.G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and drainage Paper, 56)
- ANGELOCCI, L.R. **Estimativa da transpiração máxima de macieiras (*Malus spp*) em pomares pelo modelo de Penman-Monteith**. Piracicaba: USP, 1996. 103 p. Tese (Livre-Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 1996.
- ANGELOCCI, L.R. et al. Estimativa da transpiração de lima ácida 'Tahiti' por modelos climatológicos e comparação com o fluxo de seiva determinado pelo método do balanço de calor. In: REUNION ARGENTINA DE AGOMETEOROLOGIA, 8., Mendoza, 2000. **Anais...**, Mendoza: SAA, 2000. (CD-Rom).
- ANGELOCCI, L.R. et al. Estimativa da transpiração máxima de macieiras em pomares pelo modelo de Penman-Monteith e comparação com o fluxo de seiva medido pelo método de balanço de calor. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., Piracicaba, 1997. **Anais...**, Piracicaba: SBA, 1997. p. 719-721.
- ANGELOCCI, L.R.; VALANCOGNE, C. Leaf area and water flux in apple trees. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 67, n. 2, p. 299-307, 1993.
- BAKER, J.M.; van BAVEL, C.H.M. Measurement of mass flow of water in the stems of herbaceous plants. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 10, p. 777-782, 1987.
- BRAUN, P.; MAURER, B.; HEINEMANN, G. Scaling transpiration in apple orchards – meteorological versus plant based physiological measurements. **Acta Horticulturae**, The Hague, v. 537, p. 45-51, Oct. 2000.
- CASPARI, H.W.; GREEN, S.R.; EDWARDS, W.R.N. Transpiration of well-watered and water-stressed Asian pear trees as determined by lysimetry, heat-pulse, and

- estimated by a Penman-Monteith model. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 67, p. 13-27, 1993.
- CASTEL, W.A. Citrus root systems: their structure, function, growth, and relationship to tree performance. **Proceedings of the international society of citriculture**, Sidney, v. 62 p. 62-69, 1978.
- COELHO FILHO, M. A. **Determinação da transpiração máxima em um pomar jovem de lima ácida 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) e sua relação com a evapotranspiração de referência**. Piracicaba: USP, 2002. 91 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 2002.
- COELHO FILHO, M.A. *et al.* Avaliação de métodos diretos e indiretos na estimativa de área foliar em árvores de lima ácida 'Tahiti'. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 12., Juazeiro, 2003, **Anais...**, Juazeiro: ABID, 2003. (CD-Rom).
- DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Necessidades hídricas das culturas**. Trad. de H. GHEYE; J.E.C. METRI; F.A.V. DAMASCENO. Campina Grande: UFPB, 1997. 202 p. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 24).
- GREEN, S.; COLTHIER, B. The root zone dynamics of water uptake by a mature apple tree. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 206, p. 61-77, 1999.
- GREEN, S.; MCNAUGHTON, K.G.; COLTHIER, B. Observations of night-time water use in kiwifruit vines and apple trees. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 48, p. 251-261, 1989.
- KRIEDEMANN, P.E.; BARRS, H.D. Citrus orchards. In: KOZLOWSKI, T.T. (Ed). **Water deficits and plant growth**. London: Academic Press, v. VI, 1981. p. 325-417.
- MARIN, F.R. *et al.* Sap flow and evapotranspiration in an irrigated citrus orchard. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 219-226, 2001.
- PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183 p.
- SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water flux in the stem of intact plants. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v. 37, n. 1, p. 9-17, 1981.
- SENTELHAS, P. C. *et al.* Coeficiente do tanque Classe A (Kp) para a estimativa diária da evapotranspiração de referência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., Florianópolis. **Anais...**, Campinas: SBA, 1999. (CD-Rom)
- SYVERTSEN, J.P. Minimum leaf water potential and stomatal closure in citrus leaves of different ages. **Annals of Botany**, Oxford, v. 49, p. 827-834, 1982.
- SYVERTSEN, J.P.; LLOYD, J.J. Citrus. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. (Ed). **Handbook of environmental physiology of fruit crops volume II: sub-tropical and tropical crops**. Boca Raton: CRC Press, 1994. cap. 4 , p. 65-101.
- VALANCOGNE, C. *et al.* Influence of orchard and vineyard characteristics on maximal plant transpiration. **Acta Horticultural**, The Hague, v. 537, p. 61-68, Oct. 2000.
- VILLA NOVA, N.A. *et al.* Estimativa da transpiração máxima de macieiras em pomares irrigados pelo método da advecção-aridez adaptado. (compact disc) In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, **Anais...**, Florianópolis: SBA, 1999. (CD-Rom).
- YUNUSA, I.A.M. *et al.* Determination of transpiration in irrigated grapevines: comparison of the heat-pulse technique with gravimetric and micrometeorological methods. **Irrigation Science**, Berlin, v. 20, p. 1-8, 2000.