

ISSN 0104-1347

Evapotranspiração de cafezal irrigado por gotejamento e sua relação com a evapotranspiração de referência

Evapotranspiration of a drip-irrigated coffee plantation and its relationship with the reference evapotranspiration

Shiguekazu Karasawa¹, Luiz Roberto Angelocci² e José Laércio Favarin³

Resumo: O crescente uso de irrigação na cafeicultura brasileira em áreas com grande deficiência hídrica, exige maior conhecimento sobre o consumo de água dessa cultura. Visando contribuir para tal conhecimento, a evapotranspiração global de um cafezal (ET_c) e sua partição em evapotranspiração das linhas de cafeeiros (ET_{lin}), evapotranspiração das entrelinhas (ET_{el}) e transpiração dos cafeeiros (T) foram determinadas em Piracicaba, SP, em vários períodos em cada mês entre setembro de 2004 e maio de 2005 e em setembro e outubro de 2005. O cafezal de *Coffea arabica* cv. Obatã IAC-1669-20 foi implantado em outubro de 2001, com espaçamento de 3,50 m x 0,90 m e era irrigado por gotejamento. A ET_c foi determinada pelo método de balanço de energia-Razão de Bowen, a ET_{lin} por lisímetros, estes usados, também, em vários períodos com o solo coberto com filme plástico, para determinação direta da transpiração T e para calibrar o método da sonda de dissipação térmica, usado na determinação do fluxo de seiva (FS) dos cafeeiros. Em abril-maio/05, FS foi usado como estimativa de T diária. A ET_c e seus componentes foram relacionadas com a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith ($ET_{o_{PM}}$) e do tanque classe A ($ET_{o_{CA}}$). A evapotranspiração total do cafezal apresentou valores médios diários crescentes a partir da retomada de crescimento em setembro/04, até fevereiro/05, diminuindo então até maio/05, como reflexo do aumento da área foliar. Em setembro e outubro de 2005, a ET_c foi superior à observada no mesmo período em 2004, também em função da maior área foliar. A relação ET_c/ET_o tendeu a ser maior quando a ET_o foi calculada pelo método de Penman-Monteith do que pelo método do tanque classe A. Os valores de ET_c/ET_o tenderam a aumentar de setembro/04 até março-abril, em consequência do aumento da área foliar, permanecendo relativamente constante até abril. A transpiração dos cafeeiros por unidade de área foliar diminuiu com o aumento da área foliar e atingiu valores mínimos em abril e maio. A relação entre a transpiração dos cafeeiros e a evapotranspiração das linhas de plantio manteve-se em torno de 0,70 em setembro 2004, fevereiro e março 2005, diminuindo para 0,46-0,50 em abril e maio. A relação entre a transpiração dos cafeeiros e a evapotranspiração de referência (K_c basal) aumentou a partir de setembro de 2004 com o acréscimo de área foliar, atingindo valores máximos a partir de dezembro, com leve diminuição em maio.

Palavras-Chave: evapotranspiração de cultura, fluxo de seiva, coeficiente de cultura, *Coffea arabica*

Abstract: The increasing use of irrigation in coffee plantations in Brazil, in areas where seasonal soil water deficit occurs, requires more knowledge about the water consumption of this crop. Aiming to know more about this subject, daily crop evapotranspiration (ET_c) and its partition in row evapotranspiration (ET_{row}), interrows evapotranspiration (ET_{int}) and coffee plants transpiration (T) were determined in a drip-irrigated, three to four year-old coffee plantation (cv. Obatã IAC-1669-20), cultivated at 3.5 m between rows and 0.9 m between plants, in Piracicaba, State of São Paulo, Brazil. The measurements of ET and weather variables were carried out from September 2004 to May 2005 and from September to

¹Engenheiro Agrônomo, Programa de Pós-Graduação em Física do Ambiente Agrícola, Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. C. Postal 9. 13.418-900. Piracicaba, SP. skarasaw@ig.com.br Bolsista do CNPq/CT Hidro - Brasil.

² Engenheiro Agrônomo, Professor Associado, Departamento de Ciências Exatas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Bolsista de Produtividade do CNPq.

³ Engenheiro Agrônomo, Professor Associado, Departamento Produção Vegetal, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

October 2005. ET_c was determined by the Bowen ratio-energy balance method, ET_{row} by weighing lysimeters and T with lysimeters with its soil surface covered with plastic film, or by sap flow determined with the thermal dissipation probe method (TDP). Lysimeters were also used to calibrate the TDP method. Sap flow was adopted as representative of coffee plants transpiration for 24-h period. ET and its components were correlated to the reference evapotranspiration (ET_o), determined by Penman-Monteith ($ET_{o_{PM}}$) and Class-A pan ($ET_{o_{CA}}$) methods. ET_c increased from September 2004 to February 2005, reflecting the increase of coffee plants leaf area. In September and October 2005, ET_c was greater than that observed in the same months of 2004, also as a consequence of the higher leaf area. The ratio ET_c/ET_o tended to be higher when calculated with $ET_{o_{PM}}$. ET_c/ET_o increased from September to January and that remained approximately constant until April. Coffee plants transpiration by leaf area unit decreased with the increase of leaf area and achieved minima values in April and May 2005. Ratio of coffee transpiration to evapotranspiration of the coffee plants hedgerows was around 0.7 in September 2004, February and March 2005, decreasing to 0.46-0.48 in April and May 2005. T/ET_o (basal coffee crop coefficient) increased with the increase of leaf area, achieving maxima values from December to April, with a small decrease in May 2005.

Key words: crop evapotranspiration, sap flow, crop coefficient, *Coffea arabica*

Introdução

O crescente uso da irrigação na cafeicultura brasileira, decorrente de sua expansão para áreas com ocorrência de acentuada deficiência hídrica em parte do ciclo de desenvolvimento, exige maior conhecimento do consumo de água dessa cultura. Em se tratando de irrigação localizada, é interessante conhecer como a evapotranspiração global do cafezal é repartida entre a evapotranspiração das linhas de plantio e a transpiração dos cafeeiros.

NUTMAN (1941) realizou estudos sobre consumo de água de *Coffea arabica* no Quênia, sendo que FRANCO & INFORZATO (1950, 1951) provavelmente foram os primeiros a estudar a transpiração de cafeeiros no Brasil, tanto em condições a pleno sol como de sombreamento. Outros estudos de consumo de água foram realizados no Quênia (PEREIRA, 1957; WALLIS, 1963) e tomaram impulso nos últimos 15 anos com trabalhos no Havaí (GUTIÉRREZ & MEINZER, 1994) e no Brasil (SANTINATO et al., 1996; ARRUDA et al., 2000).

Na região de Piracicaba, SP, foram realizados estudos com cafezais irrigados e adensados na linha de plantio (VILLA NOVA et al., 2002; MARIN, 2003; MARIN et al., 2005). RIGHI (2004) fez determinações do balanço de energia, da evapotranspiração total e dos componentes da cobertura (linhas de plantio e entrelinhas) no mesmo cafezal usado no presente estudo, mas ainda em fase inicial de crescimento (1 a 2 anos após o plantio).

Apesar dos resultados desses trabalhos, há necessidade de maiores estudos de exigências de água dessa cultura (CARR, 2001), pois o cafeeiro é cultivado em amplas condições edafoclimáticas, de idade, de variedades e de manejo, incluindo-se neste último caso o plantio à sombra e a pleno sol, com diferentes formas de manejo da irrigação e de cobertura das entrelinhas.

O presente trabalho foi realizado no mesmo cafezal irrigado por gotejamento e utilizado no trabalho de RIGHI (2004). Enquanto os resultados desse autor foram obtidos entre um a dois anos após a implantação, no presente estudo as medidas foram realizadas entre três a quatro anos após a sua implantação, sob condições de maior área foliar e de cobertura do terreno pelos cafeeiros, com os seguintes objetivos: a) determinar a evapotranspiração da cultura (ET_c) pelo método de balanço de energia – razão de Bowen; b) determinar a partição de ET_c nas componentes evapotranspiração das linhas e das entrelinhas dos cafeeiros; c) determinar a partição da evapotranspiração das linhas de plantio na transpiração dos cafeeiros e evaporação do solo; d) relacionar a evapotranspiração e suas componentes com a evapotranspiração de referência.

Material e Métodos

O estudo foi desenvolvido em cafezal de *Coffea arabica* L., cv. Obatã IAC 1669-20, em pé franco, com linhas adensadas no sentido SE-NW (3,50 m entre linhas, 0,90m entre plantas), implantado em 2001 no campus “Luiz de Queiroz”, ESALQ/

USP, em Piracicaba, SP (22°42'30"S; 47°30'00"W; 546 m), em Nitossolo Vermelho. As dimensões do cafezal são de 290 m no sentido das linhas de plantio e de 110 m a 120 m na transversal destas, sendo ladeado no sentido sudoeste por um consórcio de cafeeiros e seringueiras, com altura média das últimas de aproximadamente 12 m. Também no mesmo quadrante, a oeste, localiza-se um cultivo de pupunha. Ao norte situa-se área gramada com a estação meteorológica a 100 m da borda do cafezal e pastagens, estando estas últimas presentes, também, a leste. No sentido sul situam-se áreas com vegetação baixa. Um croqui detalhado da área pode ser visualizado em RIGHI (2005).

O experimento foi realizado no período entre a retomada do crescimento (setembro 2004) até a fase de maturação (maio 2005), bem como nos primeiros meses da retomada de crescimento em 2005 (setembro e outubro). Pela classificação de Köppen, o clima da região é Cwa, tropical de altitude, com chuvas predominantes no verão e inverno seco. As linhas de cafeeiros foram irrigadas por sistema de gotejamento, com emissores de vazão de 2,0 L h⁻¹, distanciados entre si de 0,8 m. A condição hídrica do solo foi monitorada por tensiômetros de mercúrio instalados junto à linha do cafeeiro em três pontos, à profundidade de 0,2 m, sendo o sistema de irrigação acionado por 24 horas quando o potencial matricial do solo se aproximava de -30 kPa.

Os tratamentos culturais consistiram de adubações e aplicações de defensivos. A cobertura das entrelinhas era composta de invasoras, principalmente capins "colchão" e "massambará", "caruru" e "caruru de mancha", sendo roçadas realizadas periodicamente, com frequência variável ao longo do experimento, mantendo-se a altura delas sempre inferior a 0,4 m, exceto em janeiro quando, devido às chuvas, essa vegetação atingiu cerca de 1,50 m de altura.

Para determinação da evapotranspiração do cafezal pelo método de balanço de energia – razão de Bowen, foram instalados três mastros de tubo de ferro zincado com diâmetro de 0,05m em dois deles e 0,075 m em outro, com altura acima do solo de 5,5 m e distanciados entre si de 12 m, deslocados ligeiramente para noroeste do centro do cafezal. Em cada mastro foram instalados psicrômetros ventilados de termopar de cobre-constantan

AWG 22, construídos no Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, conforme descrito por MARIN et al. (2001). A temperatura das termojunções úmida ($T_u, ^\circ C$) e seca ($T_s, ^\circ C$) foi determinada em várias alturas e, com base em análise da consistência dos valores estimados a partir dos dados obtidos nas várias alturas, acabaram sendo adotadas nas análises as medidas a 1,4 m e 2,1 m acima da superfície do solo de setembro a janeiro. No período posterior, o nível superior passou para 2,4 m em todos os mastros.

O saldo de radiação (Rn , em W m⁻²) foi determinado com dois saldo-radiômetros, modelo NR Lite (Kipp & Zonen, Delft, Holanda), sendo um posicionado na linha do cafeeiro (mastro 1) e outro na entrelinha (mastro 2), ambos instalados a 3,5 m acima da superfície do solo, para compor o valor médio de Rn do cafezal. O fluxo de calor no solo (G) foi determinado com placas de fluxo de calor (HFT3, REBS, Seattle, EUA) a 0,02 m de profundidade em três pontos de medida, sendo uma no centro da entrelinha e as outras duas sob a copa do cafeeiro, uma sob o emissor e outra entre dois emissores. O valor médio de G (W m⁻²), foi obtido pela equação:

$$G = 0,286 [G_{et} (3,5 - L_r) + 0,5 L_r (G_{l1} + G_{l2})] \quad (1)$$

em que G_{et} , G_{l1} e G_{l2} (em W m⁻²) são, respectivamente, os valores de fluxo de calor no solo medidos na entrelinha, no renque sob o emissor e no renque entre os emissores; L_r (em m) é a largura da linha de cafeeiros; 3,5 é o espaçamento entre linhas e os valores são fatores de ponderação.

O calor latente médio de cada período de 15 min foi estimado a partir dos valores de Rn , G e da razão de Bowen (β) com as equações de números de 2 a 5 (PEREIRA et al., 1997):

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (2)$$

$$\beta = \left[\frac{\Delta T_u}{(1 - W) \Delta T_s} - 1 \right]^{-1} \quad (3)$$

sendo ΔTu (em °C) e ΔTs (em °C) as diferenças de temperatura das termojunções úmida e seca, respectivamente. O fator de ponderação W , dependente de Tu e do coeficiente psicrométrico (γ , em kPa), foi determinado pela equação (PEREIRA et al., 1997):

$$W = 0,407 + 0,0145 Tu \quad (4)$$

$$0 < Tu < 16^\circ\text{C}$$

$$W = 0,483 + 0,01 Tu \quad (5)$$

$$16,1 < Tu < 32^\circ\text{C}$$

Na análise dos dados da razão de Bowen, foi adotado o critério de seleção de “dados aproveitáveis” proposto por PEREZ et al. (1999), para rejeitar valores incoerentes, considerando-se a sensibilidade dos psicômetros (RIGHI, 2004). Quando ocorreu intervalo inferior a duas horas com dados descartados, esse intervalo foi preenchido com dados interpolados aos valores dos limites do mesmo; se o intervalo foi igual ou superior a duas horas, o dia de medida foi desconsiderado. Para calcular a razão de Bowen, foram utilizadas as médias de 30 minutos, com os fluxos considerados positivos no sentido da atmosfera para a superfície e negativos no sentido inverso.

Na determinação da evapotranspiração das linhas de cafeeiros foram utilizados quatro lisímetros de pesagem por células de carga, sendo dois com 0,9 m de diâmetro e 0,7 m de profundidade, instalados em 2002 e os outros dois com a mesma superfície evaporante, porém com 1,0 m de profundidade, instalados em 2004. Cada tanque lisimétrico, construído em chapa de aço-carbono (0,005 m de espessura) foi assentado sobre três células de carga (Vincere do Brasil Ltda, Campinas, SP). No fundo do tanque havia um sistema coletor de água que drenava seu excesso para um reservatório de plástico. Em cada lisímetro foi instalado um conjunto de tensiômetros a 0,1; 0,2 e 0,5 m de profundidade. Em um dos dois lisímetros de menor profundidade, o cafeeiro apresentou problemas de crescimento e os dados com ele obtidos foram descartados.

A transpiração dos cafeeiros dos lisímetros foi determinada em setembro/04, fevereiro e março/05, pelo uso desses lisímetros com a superfície do solo

coberta por filme plástico para evitar a evaporação, e em abril-maio/05 pela determinação de fluxo de seiva (FS) pelo método da sonda de dissipação térmica (GRANIER, 1985). Assumiu-se que em período de 24 horas o valor de FS representou uma estimativa adequada da transpiração (VALANCOGNE & NASR, 1993). As sondas de dissipação térmica, tinham diâmetro de 0,002 m e comprimento efetivo de 0,016 m e foram instaladas na face do caule voltada para o sul, para minimizar o efeito de carga radiante, além de serem protegidas por manta aluminizada. Foram instaladas sondas nas plantas de dois lisímetros, e em uma planta externa a eles com características biométricas muito próximas daquelas dos lisímetros e cuja sonda não era aquecida, servindo esta determinar o gradiente térmico natural do caule (GNT), para corrigir as medidas. O valor de GNT foi subtraído da temperatura diferencial do caule medida pela sonda, obtendo-se, então, as temperaturas diferenciais corrigidas, usadas nos cálculos de FS , conforme a equação proposta por GRANIER (1985), a qual foi corrigida, também, por um fator determinado em testes de laboratório (informação pessoal de J.S. Delgado-Rojas).

Os cálculos da evapotranspiração de referência foram feitos pelo método de Penman-Monteith ($ET_{o_{PM}}$) conforme a parametrização proposta no Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998) e pelo método do tanque Classe A ($ET_{o_{CA}}$) com uso de coeficientes de tanque (Kp) descritos em PEREIRA et al. (1997). A escolha desses métodos foi motivada por ser o de Penman-Monteith usado como referência e o do tanque classe A apresentar simplicidade de determinação. Os dados para o cálculo de ET_o foram obtidos por estação meteorológica automática a cerca de 100 m do cafezal.

Os sinais provenientes dos sensores instalados no cafezal (células de carga, psicômetros, sonda de dissipação térmica e placa de fluxo de calor no solo) foram registrados em sistema de aquisição de dados CR-10 (Campbell Scientific Inc, Logan, USA), com registro a cada segundo e armazenamento da média a cada 15 minutos.

Calcularam-se as razões ET_c/ET_o , ET_{lin}/ET_o e T/ET_o , em que ET_c é a evapotranspiração global do cafezal, estimada pelo método da razão de

Bowen, ET_o a evapotranspiração de referência. ET_{lin} é a evapotranspiração referente a linha do cafeeiro e T a transpiração dos cafeeiros.

Para obtenção da relação ET_{lin}/ET_o , essas variáveis foram utilizadas com base em volume de água, sendo, então, ET_{lin} obtida pela seguinte equação:

$$ET_{lin} = \Delta P * 3.175 \quad (6)$$

sendo ΔP (em kg) a variação média de massa dos três lisímetros, na escala diária, transformada em $L d^{-1}$ e 3.175 refere-se ao número médio de plantas por hectare. Considerou-se a densidade da água como $1 kg L^{-1}$ e, dessa forma, expressou-se ET_{lin} em $L ha^{-1} d^{-1}$.

A transpiração utilizada nos meses de setembro/04, fevereiro e março/05, foi determinada por um dos lisímetros com o solo coberto por filme plástico, enquanto nos meses de abril e maio/05, foi aquela determinada pela sonda de dissipação térmica.

A área foliar dos cafeeiros foi determinada em vários meses pela contagem do total de folhas das plantas dos três lisímetros, consideradas como representativas do cafezal, multiplicada pela área média das folhas determinada a partir do produto do comprimento pela largura de 10% das folhas por um fator de ajuste f . GOMIDE et al. (1971) encontraram valor de f igual a 0,71 para as variedades Mundo Novo e Catuaí, enquanto que MARIN (2003) encontrou 0,70 para cafeeiros 'Mundo Novo' adultos e RIGHI (2004) encontrou 0,69 para o mesmo cafezal do presente estudo, em estágio inicial de crescimento, sendo adotado o valor médio de 0,70 para o presente estudo. O índice de área foliar médio foi calculado considerando-se a área média de terreno disponível por planta.

Resultados e Discussão

Evapotranspiração do cafezal e sua relação com a evapotranspiração de referência

Após a análise de consistência dos dados, foram calculados os valores diários de ET_c com

dados entre 6 e 18 horas de dois ou três mastros, sendo descartados dias com dados utilizáveis de somente um mastro. A evapotranspiração noturna foi considerada desprezível. Foram obtidos dados de 126 dias nos meses mostrados na Tabela 1, na qual são apresentados valores médios de ET_c e ET_o para cada mês e da relação entre ambas, de precipitação mensal e de área foliar média das plantas.

Os valores médios diários de ET_c dos períodos em cada mês tiveram tendência de aumento de setembro de 2004 a fevereiro de 2005, acompanhando o incremento da área foliar dos cafeeiros.

O outro fator que afetou a variação de ET_c foi a demanda hídrica da atmosfera, cuja variação pode ser inferida a partir dos valores de ET_o . Como foram utilizados dois métodos de estimativa de ET_o , algumas discrepâncias são observadas nos resultados, que dificultam a análise desse fator. Os valores de $ET_{o_{CA}}$ foram superiores aos de $ET_{o_{PM}}$, sendo que em cinco meses (setembro e dezembro de 2004, janeiro, fevereiro e outubro de 2005) as diferenças são inferiores a 10%. Nos meses de abril e maio $ET_{o_{PM}}$ foi 14 e 19% superior e nos outros quatro meses esse método forneceu valores acima de 25% daqueles de $ET_{o_{CA}}$. Em setembro/2004 os valores de ambos os métodos indicam uma alta demanda atmosférica nos dias de medidas, a qual, pelos dados de $ET_{o_{CA}}$, manteve-se elevada e com pouca variação até dezembro, com tendência a diminuir a partir de então até maio/2005, enquanto que pelos dados de $ET_{o_{PM}}$ há indicação de diminuição da demanda em outubro e novembro, seguida de seu aumento em dezembro e diminuição gradativa até maio. Em setembro e outubro de 2005 os valores de ET_o foram menores que nos períodos de medida dos mesmos meses em 2004. Em setembro de 2004 a alta demanda atmosférica foi fruto de altos valores de DPV e de R_n no período diurno, sendo que ambos apresentaram valores muito menores em 2005. A diferença no mês de outubro dos dois anos foi pequena, sendo consequência principalmente da menor velocidade do vento no período diurno em 2005 (Tabela 2).

O efeito da demanda atmosférica é bem evidente a partir de janeiro, quando a área foliar dos cafeeiros praticamente se estabilizou e tanto ET_c

quanto ET_o diminuíram até maio. Em setembro e outubro de 2005, apesar do menor valor de demanda hídrica da atmosfera em relação ao mesmo período de 2004, o maior valor de área foliar dos cafeeiros fez com que ET_c praticamente fosse igual ao do mesmo período do ano anterior. Outro fator que pode ter interferido nas variações de ET_c é a situação de crescimento e de disponibilidade hídrica da cobertura vegetal das entrelinhas, um aspecto que será considerado à frente.

A razão ET_c/ET_o pode ser considerada um coeficiente de cultura "global" do cafezal (K_c). Os valores médios dessa razão dependeram, evidentemente, da forma de cálculo de ET_o pelos dois métodos. Quando calculada com uso de $ET_{o_{PM}}$, o valor da razão variou de um mínimo de 0,70 em setembro/04, aumentando em outubro para 1,27, até um valor final de 1,38 a 1,39 em março e abril de 2005, com leve diminuição em maio e pequenas oscilações entre os meses a partir de outubro de 2004. Em setembro de 2005 o valor foi maior do que no mesmo mês de 2004, enquanto que em outubro de 2005 observou-se o mesmo valor do mês em 2004. A razão calculada com uso de $ET_{o_{CA}}$ foi menor em cada mês quando comparada com a calculada com $ET_{o_{PM}}$, variando de 0,66 em setembro/2004 a 1,02 em outubro/2004, sofrendo um gradual acréscimo até janeiro, mantendo-se com pequenas oscilações até abril. Em setembro e outubro de 2005 os valores da razão foram maiores do que no mesmo período em 2004. Quando considerada a área foliar, os valores da razão em outubro de 2004 parecem desproporcionais à área foliar citada, mas deve-se citar que essa área foliar reflete a sua medida no início do mês, enquanto a medida de ET_c ocorreu em todo o mês, concentrando-se em mais da metade para o final dele, quando com certeza a área foliar era maior do que a citada.

Os valores de ET_c e, portanto, de K_c de um cafezal são altamente dependentes de área foliar, do grau de cobertura vegetal do solo das entrelinhas, da disponibilidade de água no solo tanto na linha de plantio como nas entrelinhas e, segundo MARIN et al. (2004), da própria demanda hídrica da atmosfera e, por esses motivos, exigem cautela na comparação com resultados de outros trabalhos. No Havai, GUTIÉRREZ & MEINZER (1994) usaram o método da razão de Bowen na determinação de ET_c com cafezais em renques (3,6 m x 0,6 m) irrigados

por gotejamento e com idades entre 1,5 a 5,3 anos, com IAF entre 1,4 e 7,5 e entrelinhas cobertas por plantas invasoras, tendo encontrado valores de ET_c entre 2,04 mm d⁻¹ e 5,31 mm d⁻¹ para períodos quinquiduais entre julho e novembro e em julho e agosto. Os valores de ET_c estiveram mais correlacionados com ET_o do que com o IAF do cafeeiro, com valores de K_c variando entre 0,42 e 0,81. Esses valores de K_c são menores do que os encontrados no presente trabalho, mas deve se ressaltar que os valores de ET_o (4,40 a 7,42 mm d⁻¹) no Havai foram maiores do que os observados em Piracicaba.

VILLA NOVA et al. (2002) determinaram o coeficiente de cultura de cafezais 'Mundo Novo IAC 338-17' enxertado em 'Apoatã IAC 2258' pelo uso de $ET_{o_{CA}}$, com espaçamento de 2,5 m x 1,0 m e idade entre 15 e 35 meses, simulando a evapotranspiração máxima da cultura (ET_c), a transpiração dos cafeeiros e a evapo(transpi)ração das entrelinhas para diferentes densidades de plantio. Os valores de K_c encontrados variaram entre 0,50 e 1,18 quando sem cobertura vegetal na entrelinha e de 0,76 a 1,18 com cobertura na entrelinha. No mesmo cafezal usado nesse trabalho citado, mas agora irrigado por gotejamento, de meados de agosto a final de outubro de 2002 e com área foliar média dos cafeeiros de 10,0 m², MARIN (2003) encontrou K_c de 1,3 para o período, ou seja, praticamente o mesmo encontrado neste trabalho para outubro, nos dois anos.

RIGHI (2004), trabalhando no mesmo cafezal do presente estudo, entre outubro/02 e setembro/03, encontrou valores de ET_c que variaram de 3,77 mm d⁻¹ no primeiro mês (outubro) para um valor médio de 4,43 mm d⁻¹ em novembro-dezembro/02, diminuindo depois para 4,25 mm d⁻¹ em fevereiro-março/03, 2,51 mm d⁻¹ em maio-julho/03 e 2,55 mm d⁻¹ em agosto-setembro/03. Apesar da diferença de porte dos cafeeiros em relação aos do presente estudo, e da diferença de ET_o resultante do método de Penman-Monteith nas diferentes épocas, houve uma boa similaridade entre os valores de ET_c dos dois estudos, demonstrando que ET_c independeu em certo grau do porte dos cafeeiros nos dois estudos. Nem mesmo o K_c tendo por base o $ET_{o_{PM}}$ apresentou diferenças elevadas entre os dois estudos, variando no de RIGHI (2004) de 1,04 em outubro/02 para cerca de 1,30 em novembro-

Tabela 1. Número de dias com uso de dados obtidos com duas ou três repetições (mastros) em cada mês, valores médios diários de evapotranspiração do cafezal (ET_c), evapotranspiração de referência (ET_o) determinada pelos métodos de Penman-Monteith ($ET_{o_{PM}}$) e do tanque classe A ($ET_{o_{CA}}$), relações ET_c/ET_o , altura pluviométrica mensal (P) e área foliar por planta (AF).

Mês	Nº de mastros		AF (m ²)	ET _c mm.d ⁻¹	P mm.mes ⁻¹	ET _{o_{PM}} mm.d ⁻¹	ET _{o_{CA}} mm.d ⁻¹	$\frac{ET_c}{ET_{o_{PM}}}$	$\frac{ET_c}{ET_{o_{CA}}}$
	3	2							
Set/04	2	8	1,9	3,16	7,1	4,51	4,82	0,70	0,66
Out/04	1	9	2,7	4,48	156,9	3,52	4,80	1,27	1,02
Nov/04	6	8	8,6*	5,13	105,9	3,91	4,94	1,31	1,04
Dez/04	1	3		5,06	99,8	4,54	4,75	1,11	1,07
Jan/05	5	-		5,30	267,0	4,37	4,24	1,21	1,25
Fev/05	1	14	17,4	5,32	67,8	4,29	4,66	1,24	1,14
Mar/05	11	5		4,91	111,6	3,54	4,48	1,39	1,10
Abr/05	14	8	18,7*	4,42	30,7	3,20	3,65	1,38	1,21
Mai/05	1	5		3,40	164,3	2,72	3,21	1,25	1,06
Set/05	1	7	14,1*	3,26	38,4	3,35	4,20	0,97	0,78
Out/05	6	10		4,87	120,4	3,77	4,12	1,29	1,18

* Valor determinado entre o final do mês em questão e início do mês seguinte.

Tabela 2. Valores médios no período das 9:00 às 16:00 horas do déficit de saturação de pressão de vapor de água do ar (DPV), medido na estação meteorológica, velocidade do vento (U) e saldo de radiação (Rn), os dois últimos medidos no cafezal.

Variáveis	Set/04	out/04	nov/04	dez/04	Jan/05	Fev/05	mar/05	abr/05	mai/05	Set/05	out/05
DPV (kPa)	2,65	1,49	1,43	0,83	1,03	1,65	1,36	1,25	1,25	1,13	1,58
U (m s ⁻¹)	1,32	1,40	1,48	1,54	0,91	1,40	1,23	1,13	1,44	1,17	1,15
Rn (MJ m ⁻² d ⁻¹)	11,24	10,52	11,70	8,53	11,56	12,98	9,96	9,82	8,94	8,85	10,45

dezembro/02, diminuindo levemente no primeiro semestre de 2003 (cerca de 1,12), para finalmente diminuir a 0,86 em agosto-setembro/03.

A discrepância de valores de ET_c/ET_o encontrada nesses trabalhos reflete as diferentes condições de manejo e crescimento dos cafezais, dos diferentes métodos usados e do método de cálculo usado para ET_o . No caso do trabalho de GUTIERREZ & MEINZER (1994), não é possível saber em que grau o cálculo de ET_o pelo método de Penman modificado por eles usado pode ter causado diferenças no valor de K_c em relação aos do presente estudo, pois esses autores não forneceram informações detalhadas das condições das entrelinhas e da precipitação nos diferentes períodos. Em seu trabalho, RIGHI (2004)

informa sobre a possibilidade de ter havido ocorrência de aporte de energia advectiva no cafezal por ele estudado, nos meses secos.

Os dados encontrados na literatura, em confronto com os obtidos no presente trabalho, mostram a dificuldade de se recomendar valores universais de K_c , principalmente em culturas perenes e com diferentes manejos. Para cafeeiros adultos, ALLEN et al. (1998) recomendam valores entre 1,00 e 1,05 quando o solo das entrelinhas está sem vegetação e entre 1,05 e 1,10 com vegetação. Para melhor compreensão dos valores de ET_c/ET_o obtidos, é interessante introduzir e discutir os valores de partição de ET_c nos seus componentes: a evapotranspiração das linhas de cafeeiros e das entrelinhas.

Partição da evapotranspiração do cafezal em suas componentes

O cálculo da evapotranspiração das linhas de cafeeiros (*ETlin*) foi baseado nos dados lisimétricos, o que exige discussão sobre algumas aproximações usadas. Os lisímetros tinham área evaporante de 0,636 m², e o seu volume de solo não se mostrou restritivo ao sistema radicular durante o experimento, pois o crescimento das plantas não foi diferenciado daquelas cultivadas fora deles, com exceção de um, cujos dados foram descartados. Desse modo, a transpiração medida pelos lisímetros foi considerada como representativa dos cafeeiros de todo o cafezal.

Na determinação de *ETlin*, que inclui a transpiração dos cafeeiros mais a evaporação do solo sob as copas, observou-se em setembro/2004 a formação de um renque de folhagem com cerca de 1,1 m de largura (0,2 m superior à largura dos lisímetros), que aumentou a partir do período chuvoso, atingindo em fevereiro cerca de 1,4 m a 1,5 m, mantendo-se assim até outubro/2005. Por isso, em parte dos cálculos de *ETlin* a área de solo sob as copas foi considerada, fazendo-se menção de área desde 0,99 m² ocupada por cafeeiro na linha de plantio (1,1 m x 0,9 m), até 1,35 m² (1,5 m x 0,9 m).

Nos meses de fevereiro e março/2005, foram descartados dias com chuva ou irrigação, tomando-se cuidado, também, de descartar o dia subsequente a esses eventos, com dois lisímetros descobertos e um com o solo coberto com plástico. Nesse período, a área foliar dos cafeeiros nos lisímetros atingiu os valores máximos e a diferença de área foliar entre eles deve ter influenciado pouco as diferenças de evapotranspiração da linha e de transpiração determinadas. A evapotranspiração foi tomada como a média dos dois lisímetros sem cobertura do solo com lona plástica.

Na Tabela 3 são apresentados os valores de evapotranspiração da linha dos cafeeiros, determinados pelos lisímetros, e da transpiração medida no lisímetro com solo coberto por lona plástica (setembro/04 e fevereiro e março/05), sendo a última também determinada pelo fluxo de seiva em abril-maio/05. Acima de 90 % das medidas ocorreu em dias de períodos secos, estando seca a superfície do solo sob a copa dos cafeeiros fora dos lisímetros, de modo que a evapotranspiração da linha de plantio foi

praticamente aquela ocorrida nos lisímetros, sendo a evaporação do solo sob os cafeeiros, decorrente da irrigação, restrita aos próprios lisímetros.

Em setembro, fevereiro e março a transpiração dos cafeeiros foi equivalente a aproximadamente 70% da evapotranspiração dos lisímetros, considerada como sendo aquela da linha de cafeeiros. Considerando a grande diferença de área foliar entre setembro e os outros dois meses, os valores nesses meses mostram-se discrepantes. No período de fevereiro-março de 2003, no mesmo cafezal, na época com pouco mais de um ano após a sua implantação, RIGHI (2004) encontrou $T/ETlin$ igual a 17%.

Nos meses de abril e maio, a transpiração foi obtida a partir da determinação do fluxo de seiva e a evapotranspiração pelos três lisímetros. Apesar da maior dispersão dos dados em abril e maio, os valores da relação entre *T* e *ETlin* nesses meses (0,46 e 0,50) foram menores do que os obtidos em fevereiro e março. Estando a área foliar praticamente estabilizada a partir de fevereiro, a diminuição da participação de *T* na evapotranspiração medida nos lisímetros em abril e maio pode ter vários motivos: a) subestimativa do valor do fluxo de seiva pelo método da sonda de dissipação térmica; b) superestimativa dos valores lisimétricos; c) modificação da resposta estomática dos cafeeiros frente à demanda atmosférica, com diminuição da condutância foliar à difusão de vapor devido ao aumento do déficit de saturação de vapor do ar; d) diminuição da transpiração por unidade de área foliar devido ao início da senescência das folhas. É difícil de ter uma conclusão por falta de medidas adicionais, como a de condutância foliar à difusão de vapor, mas os dois últimos motivos parecem não se justificar, principalmente para abril, quando o déficit de saturação do ar ainda não era elevado e a senescência ainda não era alta.

A transpiração por unidade de área foliar diminuiu de 0,67 L d⁻¹ m⁻² (de folha) em setembro/04 para 0,08 L d⁻¹ m⁻² em abril e maio, sendo que em fevereiro esteve em torno de 0,23. Em abril e maio, além da diminuição da demanda atmosférica, deve ter ocorrido o fato de que nessa época começou a senescência de folhas, mais acentuada a partir de maio. Em setembro/2004, a pequena área foliar deve ter permitido alta irradiância de praticamente todas as folhas da copa, além de

diminuição da resistência foliar à difusão de vapor dos cafeeiros e da resistência da camada-limite das folhas, em função da suas menores dimensões e/ou do aumento da densidade de folhagem.

Os valores de transpiração observados na Tabela 3 são menores do que os determinados por FRANCO & INFORZATO (1950), que encontraram valores médios diários entre 14,1 L planta⁻¹ (0,45 L d⁻¹ m⁻²) em julho e 25,8 L planta⁻¹ (0,82 L d⁻¹ m⁻²) em novembro, em Campinas, SP, para cafeeiros da variedade Bourbon, com área foliar média de 31,46 m². Deve-se considerar a diferença de porte dessa variedade em relação à utilizada neste estudo e o fato de que a transpiração foi medida por esses autores em cafeeiros isolados. Mas os resultados obtidos por eles, quando expressos por unidade de área foliar, são de mesma magnitude dos obtidos por NUTMAN (1941) no Quênia.

No estudo de GUTIÉRREZ & MEINZER (1994), com a variedade Catuaí Amarelo em espaçamento 3,6 m x 0,7 m no Havai, com áreas foliares por planta entre 3,5 m² e 16,9 m² (IAF de 1,4 a 6,7) e sob demandas atmosféricas maiores do que as encontradas neste estudo, os valores de *T* variaram entre 1,7 L d⁻¹ planta⁻¹ e 9,1 L d⁻¹ planta⁻¹. Quando comparados valores com áreas foliares próximos às maiores encontradas no presente estudo, eles são da ordem de duas a três vezes maior. Em cafezal 'Mundo Novo' na área experimental do presente estudo, VILLA NOVA et al. (2002) estimaram valores de *T* variando entre 0,45 L d⁻¹ planta⁻¹ (AF de 0,665 m²) a 10,47 L d⁻¹ planta⁻¹ (AF de 8,53 m²), e MARIN (2003), com áreas foliares entre 6,1 m² e 13,8 m², nos meses de setembro-outubro, encontrou transpiração estimada por fluxo de seiva determinado por método de balanço de calor no caule que variou em função da área foliar e da condição de demanda hídrica do dia, mas que no máximo atingiu 20 L d⁻¹ em cafeeiro com 13,8 m².

Por outro lado, ao trabalharem com a variedade Caturra na Costa Rica (duas plantas por cova, espaçamento de 2,00 m x 0,85 m) com 10 anos após a implantação do cafezal, mas sem informação no trabalho sobre a área foliar, DAUZAT et al. (2001) encontraram valores médios de *T* por planta da ordem de 2,0 L d⁻¹ em sete dias no mês de abril, a partir do fluxo de seiva determinado pelo método da sonda de dissipação térmica, sendo esse valor mais próximo dos encontrados neste estudo.

RIGHI (2004), no mesmo cafezal do presente estudo, encontrou valores de *T* determinados com fluxo de seiva (método do balanço de calor no caule) de 0,45 L d⁻¹ por planta em maio-julho e 0,38 L d⁻¹ por planta em agosto-setembro/03. Mas esses valores foram obtidos com valores de IAF baixos (0,53 e 0,66).

A baixa transpiração encontrada neste trabalho quando comparada com os de outros estudos, exceção feita ao realizado na Costa Rica, pode ser conseqüência da elevadíssima densidade de folhagem dos cafeeiros observada no 'Obatã', como conseqüência da formação de internódios curtos e de grande número de ramos. Pelo uso de áreas foliares observadas a partir de dezembro/04 e pelas dimensões das copas, é possível calcular que as densidades de folhagens alcançadas neste experimento foram da ordem de seis vezes maior do que as do estudo de MARIN (2003). Essa densa folhagem pode ter interferido com a interceptação da radiação, por levar a uma alta proporção de folhas sombreadas e à diminuição da condutância estomática e da camada-limite à difusão de vapor do 'Obatã'. Mas, todas essas causas precisam ser melhor investigadas, mesmo porque essa é uma variedade introduzida recentemente no cultivo comercial.

Encontrou-se uma razão $T/ET_{o_{PM}}$ em torno de 0,12 no mês de setembro/04, aumentando para 0,26 e 0,27 em fevereiro-março, mas com posterior redução, para 0,19 em abril e 0,15 em maio, o que era previsto, já que o volume transpirado não excedeu a 3,56 L d⁻¹ por planta. Esta ordem de grandeza é similar à encontrada no trabalho de RIGHI (2004), caso se faça a correção dos dados de *T* em relação a IAF e se atualize para as condições deste estudo, já que os valores de ET_o , com exceção dos meses de setembro/04, devido ao elevado DPV, foram similares. Entretanto este valor foi inferior ao obtido no cafezal estudado por MARIN (2003), no qual se encontrou uma relação $T/ET_{o_{PM}}$ de 0,80.

Na Tabela 4 encontram-se os valores médios da evapotranspiração de referência estimada pelos métodos de Penman-Monteith e do tanque Classe A, a evapotranspiração da linha dos cafeeiros, a evapotranspiração do cafezal (ET_c) e as relações entre elas, com valores médios diários obtidos em cada mês nos dias de medidas comuns. Da mesma forma que para a Tabela 3, os dados de ET_{lin} foram obtidos em

L d⁻¹ por planta e depois transformados em fluxo volumétrico por unidade de terreno, multiplicando-os pela densidade de plantas (3.175 pl ha⁻¹), sendo o valor *ET_o* também transformado em fluxo volumétrico por unidade de área do terreno para se calcular as relações *ET_{lin}/ET_o*.

Nos meses de novembro/04 e janeiro/05, fez-se um segundo cálculo de *ET_c*, considerando-se que as medidas nesse período ocorreram com o solo sob as copas dos cafeeiros tendo sua superfície toda úmida e com evaporação que não ficou restrita ao lisímetro. Essa correção foi realizada assumindo-se que nesses meses a evaporação do solo úmido sob a copa (*E_s*) representava cerca de 30 % da evapotranspiração do lisímetro (*ET_{lis}*), conforme se deduz da Tabela 3. Assim, considerou-se que *E_s* na linha de plantio sob a copa dos cafeeiros ocorreu na mesma taxa da ocorrida em toda a superfície do lisímetro, fazendo-se a seguinte correção para *ET_{lin}*:

$$ET_{lin} = ET_{lis} + \left(0,3 ET_{lis} + \frac{(0,99 - 0,636)}{0,636} \right) = 1,17 ET_{lis} \quad (7)$$

sendo 0,99 m² a área de solo sob a copa e 0,636 m² a área do lisímetro. Para o mês de outubro/05, o mesmo critério foi usado, mas considerando-se maior área de projeção da copa no solo, pois ela já atingia largura de cerca de 1,50 m, de modo que *ET_{lin}* = 1,333 *ET_{lis}*.

A evapotranspiração das linhas de cafeeiros

foi variável entre 20 a 30 % da evapotranspiração global do cafezal, se adotado o valor corrigido para evaporação do solo, em setembro e outubro/05. Portanto, a relação *ET_{lin}/ET_c* foi próxima, mas um pouco abaixo da relação entre a área de solo coberto pelos cafeeiros e a total do cafezal. MARIN (2003), em cafezal na mesma área, mas com espaçamento menor entre as linhas, observou uma relação próxima entre a razão *ET_c/ET_{lin}* e a razão entre a área de solo coberta pela copa e a área total do terreno. Isso indica a importância das entrelinhas vegetadas como grande contribuinte para o fluxo de vapor na cultura. MARIN et al. (2002) observaram em pomar de lima ácida 'Tahiti' que no período úmido a relação entre a transpiração das árvores (determinadas por fluxo de seiva) e a evapotranspiração das entrelinhas vegetadas também era proporcional às respectivas frações de cobertura do solo por cada componente de vegetação. No presente estudo essa proporcionalidade se manteve mesmo nos períodos secos como em setembro nos dois anos, em fevereiro, abril e maio nos quais as entrelinhas teoricamente não deveriam estar evapotranspirando na mesma taxa dos renques de cafeeiros. Esse aspecto merece ser melhor estudado, pois pode ter havido energia advectiva adicional ou mesmo a vegetação invasora pode ter se mantido ativa em retirar água do solo em profundidade nesses meses. Deve-se ressaltar que, com exceção de fevereiro, onde em parte do mês a vegetação das entrelinhas não se mostrou extremamente ativa devido à roçada, nos outros meses citados essa vegetação passou

Tabela 3. Valores médios, para cada mês, da evapotranspiração das linhas de plantio (*ET_{lin}*) e da transpiração (*T*) dos cafeeiros e da razão entre elas nos dias de medida de *T*. Os valores das razões foram obtidos transformando-se os dados de *ET_{lin}* e *T* em volume de água por unidade de área do cafezal, adotando-se a densidade de 3175 plantas ha⁻¹.

Mês/ano	<i>ET_{lin}</i> (L d ⁻¹ pl ⁻¹)	<i>T</i> (L d ⁻¹ pl ⁻¹)	$\frac{T}{ET_{lin}}$	$\frac{T}{ET_{oPM}}$	$\frac{T}{ET_{CA}}$
Set/04	2,61 ⁽¹⁾	1,75 ⁽²⁾	0,67	0,12	0,11
Fev/05	4,98	3,56 ⁽²⁾	0,71	0,27	0,32
Mar/05	4,46	3,09 ⁽²⁾	0,69	0,26	0,27
Abr/05	4,06	1,86 ⁽³⁾	0,46	0,19	0,23
Mai/05	2,81	1,40 ⁽³⁾	0,50	0,15	0,12

(1) – média dos dias com solo do lisímetro descoberto, em dias não comuns com os dias das demais variáveis; (2) – dados provenientes do lisímetro com solo coberto; (3) – dados provenientes de fluxo de seiva

Tabela 4. Valores das relações entre a evapotranspiração das linhas de plantio, a evapotranspiração do cafezal e a evapotranspiração de referência ($ET_{o_{PM}}$ e $ET_{o_{CA}}$), evapotranspiração do cafezal (ET_c). Os dados em parênteses referem-se ao segundo cálculo de ET_{lin} (considerando área total do solo sob a copa dos cafeeiros).

Mês/ano	Nº de dias	IAF	$\frac{ET_{lin}}{ET_c}$	$\frac{ET_{lin}}{ET_{o_{PM}}}$	$\frac{ET_{lin}}{ET_{o_{CA}}}$
Set/04	5	0,8	0,20	0,18	0,15
Out/04	7		0,21	0,30	0,22
Nov/04	7	2,7	0,23 (0,26)	0,33(0,38)	0,24 (0,29)
Dez/04	4*		0,20	0,36*	0,30*
Jan/05	4		0,24 (0,28)	0,34(0,39)	0,38 (0,45)
Fev/05	9	5,31	0,25	0,33	0,28
Mar/05	7		0,29	0,38	0,30
Abr/05	13	5,70	0,30	0,43	0,32
Mai/05	4		0,25	0,32	0,27
Set/05	3	4,28	0,35	0,26	0,27
Out/05	5		0,31 (0,36)	0,36(0,48)	0,35 (0,46)

* Médias de dias não coincidentes quanto às medidas.

parte do mês em bom estado vegetativo, atestado por fotografias tomadas ao longo do experimento.

Inferese, também, que o aumento da área foliar dos cafeeiros não afetou esta relação de proporcionalidade com a razão entre as áreas de cobertura vegetal das linhas e entrelinhas. Por outro lado, a diminuição da área foliar do cafeeiro pode ter permitido maior evaporação do solo devido à maior exposição do mesmo à radiação solar nas linhas de plantio ou próximo delas.

No Havaí, GUTIÉRREZ & MEINZER (1994) encontraram relação T/ET_c aumentando exponencialmente com o IAF, chegando a 1 com IAF de 6,8, ou seja, para IAF cerca de 20% maior que o encontrado no presente estudo, toda a evapotranspiração do cafezal teria sido originária da transpiração dos cafeeiros, o que não está de acordo com o verificado no atual trabalho e no de MARIN (2003). Os autores do trabalho do Havaí justificam que a contribuição exclusiva da transpiração dos cafeeiros para a evapotranspiração global sob alto valor de IAF teria ocorrido porque na maior parte do dia as entrelinhas ficavam sombreadas pela densa folhagem dos cafezais da variedade usada, mas isso

não se aplica ao presente estudo, pois devido ao grande espaçamento entre as linhas e a orientação delas, bem como ao menor volume de copa da variedade aqui utilizada, houve grande insolação das entrelinhas nas horas de maior demanda atmosférica, no período do dia em que o Sol apresenta altura elevada na maior parte do ano.

A alta contribuição das entrelinhas para ET_c no presente estudo é difícil de ser explicada em alguns meses. Por exemplo, em setembro/04 havia ocorrência de seca acentuada, de modo que a grande contribuição das entrelinhas somente poderia ser justificada caso sua cobertura vegetal estivesse transpirando em taxas superiores às dos cafeeiros, caso admissível somente se elas estivessem absorvendo água de camadas mais profundas do solo. Outras explicações poderiam ser encontradas pelos erros cometidos na determinação de ET_c pela razão de Bowen, por exemplo, com superestimativas dessa variável, ou pelos erros nas medidas lisimétricas e de fluxo de seiva. Isso remete à necessidade de estudos mais aprofundados do uso dessas técnicas em cafezais, assim como de necessidade de medidas de consumo de água das entrelinhas. Medidas fisiológicas, como potencial da

água na planta e condutância foliar à difusão de vapor tanto nas linhas como nas entrelinhas, ajudariam na análise dos resultados.

Conclusões

A evapotranspiração total do cafezal apresentou valores médios diários crescentes a partir da retomada de crescimento em setembro/04, até fevereiro/05, diminuindo então até maio/05, como reflexo do aumento da área foliar. Em setembro e outubro de 2005, a ET_c foi superior à observada no mesmo período em 2004, também em função da maior área foliar.

A relação ET_c/ET_0 tendeu a ser maior quando a ET_0 foi calculada pelo método de Penman-Monteith do que pelo método do tanque classe A.

Os valores de ET_c/ET_0 tenderam a aumentar de setembro/04 a janeiro/05, como reflexo do acréscimo de área foliar, mantendo-se depois relativamente constante até abril.

A transpiração dos cafeeiros por unidade de área foliar diminuiu consideravelmente com o aumento da área foliar, atingindo valor mínimo em abril-maio de 2005.

A relação entre a transpiração dos cafeeiros e a evapotranspiração das linhas de plantio manteve-se em torno de 0,70 em setembro 2004, fevereiro e março 2005, diminuindo para 0,46-0,50 em abril e maio.

A relação entre a transpiração dos cafeeiros e a evapotranspiração de referência ("Kc basal") variou desde setembro, aumentando com o acréscimo de área foliar e atingindo valores máximos a partir de dezembro, com leve diminuição em maio.

Referências Bibliográficas

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

ALLEN, S.J.; BRENNER, A.J.; GRACE, J. A low-cost psychrometer for field measurements of atmospheric humidity. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v. 17, p. 219-225, 1994.

ARRUDA, F.B.; IAFFE, A.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R.O. Resultados anuais do coeficiente de cultura do cafeeiro em um ensaio em Pindorama, SP. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2000. v. 2. p. 790-793.

CARR, M.K.V. The water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001.

DAUZAT, J.; RAPIDEL, B.; BERGER, A. Simulation of leaf transpiration and sap flow in virtual plants: model description and application to a coffee plantation in Costa Rica. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 109, p. 143-160, 2001.

FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro cultivado ao sol. **Bragantia**, Campinas, v. 10, n. 9, p. 247-257, 1950.

FRANCO, C.M.; INFORZATO, R. Quantidade de água transpirada pelo cafeeiro sombreado e pelo ingazeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 11, n. 4/6, p. 121-125, 1951.

GOMIDE, M.B.; LEMOS, O.V.; TOURINO, D.; CARVALHO, M.M. de; CARVALHO, J.G. de; DUARTE, G. S. Comparação entre métodos de determinação de área foliar em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 1, n. 2, p. 118-123, jul./dez. 1977.

GRANIER, A. Une nouvelle méthode pour la mesure du flux de sève brute dans le tronc des arbres. **Annales des Sciences Forestières**, Versailles, v. 42, n. 2, p. 193-200, 1985.

GUTIÉRREZ, M.V.; MEINZER, F.C. Energy balance and latent heat flux partitioning in coffee hedgerows at different stages of canopy development. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, p. 173-186, 1994.

KARASAWA, S. **Evapotranspiração de cafezal semi-adensado irrigado por gotejamento e sua partição com a evapotranspiração de referência**. 2006. 96 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

- KARASAWA, S.; ANGELOCCI, L.R.; MELO, R.W. de; SILVA, C.R. da; FAVARIN, J.L. Instalação e calibração de lisímetros de pesagem por célula de carga em cafezal adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 9., 2005, Campinas. **Anais...** Campinas: SBA, 2005. 1 CD-ROM.
- MARIN, F.R. **Evapotranspiração e transpiração máxima de cafezal adensado**. 2003. 118 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO FILHO, M.A.; VILLA NOVA, N.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 839-844, 2001.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 41, n. 2, p. 187-197, 2005.
- MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; PEREIRA, A.R.; SENTELHAS, P.C.; VILLA NOVA, N.A. Balanço de energia e consumo hídrico em pomar de lima ácida ‘Tahiti’. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São José dos Campos, v. 17, n. 2, p. 219-228, 2002.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. **Symposium of the Society of Experimental Biology**. Cambridge, v. 19, p. 205-234. 1965.
- NUTMAN, F.J. Studies on the physiology of Coffea arábica L. III. Transpiration rates of whole trees in relation to natural environmental conditions. **Annals of Botany**, London, v. 1, p. 681-693, 1941.
- PEREIRA, H.C. Field measurements of water use for irrigation control in Kenya coffee. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 49 p. 459-466, 1957.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997, 183 p.
- PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 97, p. 141-150, 1999.
- RIGHI, E.Z. **Balanço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 151 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A.L.T.; FERNANDES, D.R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Árbore, 1996. 140 p.
- VALANCOGNE, C.; NASR, Z. A heat balance method for measuring sap flow in small trees. In: BORGHETTI, M.; GRACE, J.; RASCHI, A. (Eds.). **Water transport in plants under climatic stress**. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p. 166-173.
- VILLA NOVA, N.A.; FAVARIN, J.L.; ANGELOCCI, L.R.; DOURADO NETO, D. Estimativa do coeficiente de cultura do cafeeiro em função de variáveis climatológicas e fitotécnicas. **Bragantia**, Campinas, v. 61, n. 1, p. 81-88, 2002.
- WALLIS, J.A.N. Water use by irrigated Arabica coffee in Kenya. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 60, p. 381-388, 1963.