

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL E DE REFERÊNCIA EM ÁREA URBANA NO MUNICÍPIO DE RECIFE - PE

*Leidjane Maria Maciel de Oliveira<sup>1</sup>; Iane Andrade de Oliveira<sup>2</sup>; José Romualdo de Sousa Lima<sup>3</sup>;  
Antonio Celso Dantas Antonino<sup>4</sup>; Suzana Maria G. Lima Montenegro<sup>5</sup>; Albert Einstein S. Saraiva  
de Moura<sup>6</sup>; Jaime Joaquim da Silva P. Cabral<sup>5</sup>; Carlos A. Brayner de O. Lira<sup>4</sup>; Carlos Alexandre  
B. de Almeida<sup>2</sup>; Antonio M. da Silva<sup>7</sup>*

**RESUMO** - Os estudos sobre evapotranspiração proporcionam informações relativas à quantidade de água consumida pelas plantas, fornecendo dados para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação com o devido planejamento agrícola. Este trabalho objetivou a determinação da evapotranspiração real por meio do método balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  e a evapotranspiração de referência  $ET_o(PM-FAO)$  por meio da equação Penman-Monteith (FAO 56) em área de pesquisa no campus da UFPE – Recife-PE. O resultado médio diário da  $ET_o(PM\_FAO56)$  de  $3,12 \text{ mm dia}^{-1}$  apresenta valor levemente superior da  $ET_R(B)$  de  $2,75 \text{ mm dia}^{-1}$ , comprovando que houve restrição hídrica na área de estudo. Os indicadores estatísticos entre a  $ET_o(PMFAO56)$  e a  $ET_R(B)$  resultaram em coeficiente de correlação de 0,90, índice de desempenho de 0,83 (muito bom) e erro padrão da estimativa  $0,51 \text{ mm dia}^{-1}$  em 95 dias de 2008, demonstraram que a  $ET_R(B)$  pode substituir a  $ET_o(PMFAO56)$ .

**ABSTRACT** - Studies on evapotranspiration provide information about the water consumption by plants, issuing important data for water resources management and for calculation of irrigation support from the adequate agricultural planning. This work had the objective of analysing the actual evapotranspiration estimated by energy balance-Bowen ratio  $ET_R(B)$  compared to reference evapotranspiration estimated by Penman\_Monteith  $ET_o(PM-FAO)$  in a research area located in UFPE (Federal University of Pernambuco) in Recife – PE. The estimated average diary value of  $ET_o(PM\_FAO56)$  was of  $3,12 \text{ mm}^{-1}$  presents value next superior of  $ET_R(B)$  of  $2,75 \text{ mm day}^{-1}$ , proving that there was water deficit in the study area. The statistical indicators comparing  $ET_o(PMFAO56)$  and  $ET_R(B)$  resulted in correlation coefficient of 0,90, agreement index of 0,83 (very good) and standard estimation error  $0,51 \text{ mm day}^{-1}$  in 95 days of 2008, demonstrating that  $ET_R(B)$  can substitute  $ET_o(PMFAO56)$ .

**Palavras-chave:** evapotranspiração, razão de Bowen, Penman-Monteith (FAO56)

- 
- 1) Doutoranda em Engenharia Civil - Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, (DECIV/CTG/UFPE), Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, CDU, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 7216. E-mail: [leidjaneoliveira@hotmail.com](mailto:leidjaneoliveira@hotmail.com)
  - 2) Doutorandos em Tecnologia Energética e Nuclear - (PROTEN/CTG/UFPE), Av Professor Luís Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50740 - 540. Tel: (81) 2126 - 7973. E-mail: [jane\\_andrade@yahoo.com.br](mailto:jane_andrade@yahoo.com.br); [almeidacarlos2003@yahoo.com.br](mailto:almeidacarlos2003@yahoo.com.br)
  - 3) Professor da Unidade Acadêmica de Garanhuns (UAG/UFRPE), Av. Bom Pastor, S/N, Boa Vista, Garanhuns/PE, CEP: 55296-901. Tel: (87) 3761-0882. E-mail: [romualdo@uag.ufrpe.br](mailto:romualdo@uag.ufrpe.br)
  - 4) Professor do Departamento de Engenharia Nuclear (DEN/CTG/UFPE), Av Professor Luís Freire, 1000, Cidade Universitária, Recife/PE. CEP: 50740 - 540. Tel: (81) 2126 - 7973. E-mail: [acda@ufpe.br](mailto:acda@ufpe.br); [cabol@ufpe.br](mailto:cabol@ufpe.br)
  - 5) Professores do Departamento de Engenharia Civil (DECIV/CTG/UFPE), Av Acadêmico Hélio Ramos, s/n, Cidade Universitária, Recife/PE. Caixa Postal 7800. CEP: 50741 - 530. Tel: (81) 2126 - 8709. E-mail: [suzanam@ufpe.br](mailto:suzanam@ufpe.br); [jcabral@ufpe.br](mailto:jcabral@ufpe.br)
  - 6) Doutorando em Engenharia Agrícola, (DTR/UFRPE) Av. Dom Manoel de Medeiros, s/n. Dois Irmãos, Recife-PE, Brasil, CEP: 50.000-000, Tel: (81) 2126.7216. E-mail: [aessmoura@yahoo.com.br](mailto:aessmoura@yahoo.com.br)
  - 7) Graduando em Engenharia Agrícola, (DTR/UFRPE) E-mail: [antmarquess@yahoo.com.br](mailto:antmarquess@yahoo.com.br)

## 1 - INTRODUÇÃO

Nos dias atuais cresce cada vez mais a conscientização da importância dos recursos hídricos, pois a água é fonte primordial na existência do ser humano. Conscientização esta que vem originando demandas crescentes de informações quantitativas que proporcionem o planejamento hídrico de forma sustentável (Oliveira, 2007). Embasado na necessidade das informações sobre o planejamento hídrico, o MMA (2006) comenta que o setor agrícola brasileiro é o principal usuário consuntivo dos recursos hídricos, sendo a área física abrangida por esse setor que pode ocorrer a maioria das intervenções para a melhoria da utilização da água.

Ainda, o Geo Brasil (2007) cita que quanto ao uso, a maior parte dos recursos hídricos empregados no Brasil vai para atividades produtivas, com destaque para a irrigação. Ainda, em análise de dados históricos e do contexto atual, com prognósticos de cenários futuros de disponibilidade dos recursos hídricos, verifica-se que alguns fatores merecem atenção e acompanhamentos especiais, entre outros a expansão de atividades rurais, em especial da irrigação – setor que mais consome água no Brasil.

Os estudos sobre evapotranspiração fornecem informações relativas à quantidade de água consumida pelas plantas, fornecendo dados para o manejo da água e para o dimensionamento dos sistemas de irrigação com o devido planejamento agrícola (Lima *et al.*, 2005b). Uma alternativa com base eficiente para racionalizar o uso da água em projetos agrícolas é estimar a evapotranspiração da cultura a partir da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) e o coeficiente de cultura.

Para determinação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), um painel de especialistas da FAO (Allen *at al.*, 1998) recomendou a adoção do modelo Penman-Monteith como padrão de cálculo, mesmo para locais com deficiência de dados meteorológicos necessários ao seu uso, fornecendo procedimento e parametrizações adequadas a diversas escalas de tempo como diária, decenal e mensal (Santiago *et al.*, 2002). O Boletim nº 56 de Allen *et al.* (1998) da FAO, enfatiza o conceito de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) como sendo resultado de uma cultura hipotética com altura de 0,12m, uma resistência de superfície fixa de  $70 \text{ m s}^{-1}$ , um albedo de 0,23 e sem restrição hídrica. Este método vem sendo utilizados por diversos pesquisadores como Ribeiro *et al.*(2007); Back (2007), Oliveira *et al.* (2008) e Lima *et al.*(2006).

A determinação da evapotranspiração real pelo Balanço de Energia-razão de Bowen tem sido largamente utilizada por diversos pesquisadores (Zang *et al.*, 2007; Azevedo *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2005a; Lima *et al.*, 2005b e Azevedo *et al.*, 2003), baseia-se na razão entre os calores sensível e latente ( $\beta = H / LE$ ) que foi proposta por Bowen em pesquisas sobre balanço de energia. As principais vantagens do método da razão de Bowen são: medições simples e diretas; não requererem informações a respeito das características aerodinâmicas da superfície de interesse e podem estimar

os fluxos em escala fina de tempo (menos que uma hora) além de fornecerem medições contínuas (Todd *et al.*, 2000).

Este trabalho tem como objetivo a determinação da evapotranspiração real por meio do método balanço de energia-razão de Bowen ETR(B) e a evapotranspiração de referência ETo(PM-FAO) por meio da equação Penman-Monteith (FAO 56) em área urbana no campus na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) em Recife – PE.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 – Área de Estudo

O estudo foi realizado em área de pesquisa localizada no campus da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), no município de Recife, com coordenadas geográficas de 8° 04' 03" de latitude sul, 34° 55' 00" de longitude oeste e 7 m de altitude, com clima dominante de As´- quente úmido de acordo com classificação de Köppen, sendo a cobertura do solo com grama inglesa (figura 1).



Figura 1 – Localização da área de pesquisa no campus da UFPE

### 2.2 – Dispositivos utilizados

Foi instalada uma torre micrometeorológica contendo sensores de medidas da temperatura e umidade relativa do ar, em dois níveis ( $z_1 = 50,0$  cm;  $z_2 = 100,0$  cm) acima do solo, um piranômetro para a medida da radiação global, um saldo radiômetro para as medições do saldo de radiação e um pluviógrafo, para a medida da precipitação.

Para a medida do fluxo de calor no solo foram instalados fluxímetros em dois locais, na profundidade  $z = 5,0$  cm, juntamente com um sensor de umidade do solo, na mesma profundidade, além de duas sondas térmicas instaladas horizontalmente, nas profundidades de  $z_1 = 2,0$  e  $z_2 = 8,0$  cm. Todas essas medidas foram armazenadas como médias a cada 30 minutos em um sistema de aquisição de dados CR 10X da *Campbell Scientific*.

### 2.3 – Balanço de energia – razão de Bowen

O balanço de energia foi determinado mediante a razão de Bowen por meio da seguinte equação (Lima *et al.*, 2005a):

$$R_n = LE + H + G \quad (1)$$

No qual:

$R_n$  é o saldo de radiação ( $W m^{-2}$ ),  $G$  o fluxo de calor no solo ( $W m^{-2}$ ),  $H$  o fluxo de calor sensível ( $W m^{-2}$ ) e  $LE$  o fluxo de calor latente ( $W m^{-2}$ ).

A partição da energia disponível entre fluxo de calor latente e fluxo de calor sensível será obtida pelo método do balanço de energia-razão de Bowen, através das diferenças na temperatura do ar e na pressão de vapor, em dois níveis:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

No qual:

$\gamma$  é a constante psicrométrica ( $0,066 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ );  $\Delta T$  a diferença de temperatura do ar ( $^\circ\text{C}$ ) e  $\Delta e$  a diferença da pressão de vapor (kPa).

A partir das medições do saldo de radiação ( $R_n$ ), do fluxo de calor no solo ( $G$ ) e das diferenças de temperatura do ar ( $\Delta T$ ) e da pressão de vapor ( $\Delta e$ ), juntamente com a equação simplificada do balanço de energia (Eq. 1) e se utilizando a razão de Bowen ( $\beta$ ) (Eq. 2), foram calculados os fluxos de calor latente ( $LE$ ) e calor sensível ( $H$ ) segundo as equações:

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (3)$$

$$H = \frac{\beta}{1 + \beta} (R_n - G) \quad (4)$$

A taxa da evapotranspiração foi obtida dividindo-se o fluxo de calor latente pelo calor latente de vaporização, considerado como ( $2,45 \text{ M J kg}^{-1}$ ).

## 2.4 – Equação Penman-Monteith (FAO-56)

O Boletim nº 56 de Allen *et al.* (1998) da FAO, apresenta o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) conforme abaixo descrito:

$$ET_o(PM - FAO) = \frac{0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{900}{(T_{med} + 273)} \cdot U_2 \cdot (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \cdot (1 + 0,34 \cdot U_2)} \quad (5)$$

No qual:

$ET_o(PM - FAO)$  = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>);  $\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor na saturação (kPa °C<sup>-1</sup>);  $R_n$  = radiação líquida ou saldo de radiação (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $G$  = fluxo de calor no solo (MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);  $U_2$  = velocidade do vento a 2 m de altura;  $T_{med}$  = temperatura média entre a máxima e a mínima;  $e_s$  = pressão de vapor na saturação (kPa) e  $e_a$  = pressão de vapor atual (kPa).

Cada termo da equação (5) é calculado mediante a parametrização seguinte, sendo a temperatura média diária ( $T_{med}$ ) e a constante psicrométrica ( $\gamma$ ), em (kPa °C<sup>-1</sup>), determinadas por:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad (6)$$

$$\gamma = 0,665 \cdot 10^{-3} P_{(atm)} \quad (7)$$

$$P_{(atm)} = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \quad (8)$$

No qual:

$P_{(atm)}$  = Pressão atmosférica (kPa) e  $z$  = altitude local (m).

A declividade da curva de pressão de vapor na saturação ( $\Delta$ ), em kPa.°C<sup>-1</sup> é definida pela equação:

$$\Delta = \frac{4098 \cdot e_s}{(T_{med} + 237,3)^2} \quad (9)$$

Para determinação da pressão de vapor na saturação ( $e_s$ ), em kPa, faz-se o uso da seguinte equação:

$$e_s = \frac{e^o(T_{máx}) + e^o(T_{mín})}{2} \quad (10)$$

No qual:

$e^o(T_{máx})$  = pressão de saturação de vapor à temperatura máxima (kPa);  $e^o(T_{mín})$  = pressão de saturação de vapor à temperatura mínima (kPa).

Cada pressão acima referida é calculada pelas equações que seguem:

$$e^o(T_{máx}) = 0,6108.e^{\frac{17,27.T_{máx}}{T_{máx}+237,3}} \quad (11)$$

$$e^o(T_{mín}) = 0,6108.e^{\frac{17,27.T_{mín}}{T_{mín}+237,3}} \quad (12)$$

Para o cálculo da pressão de vapor atual ( $e_a$ ), em kPa, o Boletim da FAO-56 Allen *et al.*(1998), recomenda a seguinte equação:

$$e_a = \frac{e^o(T_{mín}).\frac{UR_{máx}}{100} + e^o(T_{máx}).\frac{UR_{mín}}{100}}{2} \quad (13)$$

No qual:

$UR_{máx}$  = umidade relativa máxima do ar (%) e  $UR_{mín}$  = umidade relativa mínima do ar (%).

A velocidade do vento a 2 m de altura ( $U_2$ ), em  $m s^{-1}$ , é expressa pela equação:

$$U_2 = U_z \cdot \frac{4,87}{\ln(67,8.z_m - 5,42)} \quad (14)$$

No qual:

$U_z$  = velocidade do vento na altura medida ( $m s^{-1}$ ) e  $z_m$  = altura onde é medida a velocidade do vento (m).

O saldo da radiação ou radiação líquida ( $R_n$ ) é medido pelo saldo radiômetro, em  $MJ m^{-2} dia^{-1}$  e o fluxo de calor no solo (G) medido pelo fluxímetro.

## 2.5 – Análise Estatística

Com o intuito de avaliar se os dados da evapotranspiração real obtidos pelo método balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  podem ser considerados como evapotranspiração de referência  $ET_o(PM-FAO56)$  por meio da equação de Penman-Monteith (FAO 56), realizou-se a análise estatística com a aplicação de regressão linear simples, considerando-se os seguintes indicadores estatísticos: coeficiente de correlação (r), índice de concordância (d), índice de desempenho (c) e erro padrão da estimativa (SEE) em 95 dias nos meses de março, maio, junho e julho de 2008.

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação que indica o grau de dispersão dos dados obtidos em relação à média. Já a exatidão está relacionada ao afastamento dos valores estimados em relação aos observados. Matematicamente, essa aproximação é dada por um índice designado de concordância (d) (Willmott *et al*, 1985). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1, para concordância perfeita.

O índice de Willmott é dado pelas seguintes equações:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|\hat{y}_i| + |y_i|)^2} \quad (15)$$

$$\hat{y}_i = \hat{y}_i - \bar{y} \quad (16)$$

$$y_i = y_i - \bar{y} \quad (17)$$

No qual:

$d$  = índice de concordância, adimensional, variando de 0 a 1;  $\hat{y}_i$  = evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith (FAO 56);  $y_i$  = evapotranspiração real pelo método balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$ ;  $\bar{y}$  = média dos valores pelo método balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$ .

O índice de desempenho ( $c$ ) foi proposto por Camargo & Sentelhas (1997), com critérios conforme a Tabela 1, para indicar o desempenho dos métodos, reunindo os índices de precisão “ $r$ ” e de exatidão “ $d$ ”, sendo expresso pela equação:

$$c = r.d \quad (18)$$

No qual:

$c$  = índice “ $c$ ” de desempenho;  $r$  = coeficiente de correlação e  $d$  = índice de concordância, adimensional, variando de 0 a 1.

Tabela 1– Critério de interpretação do desempenho dos métodos de estimativa da evapotranspiração pelo índice “ $c$ ”

Valor de “ $c$ ”	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo & Sentelhas (1997)

O erro padrão da estimativa (SSE) mede a dispersão dos valores amostrados ao redor da reta de regressão, definido pela equação:

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}} \quad (19)$$

Onde:

$SEE$  = erro padrão da estimativa;  $y_i$  = evapotranspiração real pelo método balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(BW)$ ;  $\hat{y}_i$  = evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith (FAO 56);  $n$  = número de observações.

### 3 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Observa-se que no período de 95 dias entre os meses de março, maio, junho e julho de 2008 o total precipitado foi de 1.214,10 mm distribuídos ao longo dos dias, conforme a figura 2, totalizando 7 dias sem evento chuvoso e 88 dias com evento chuvoso.

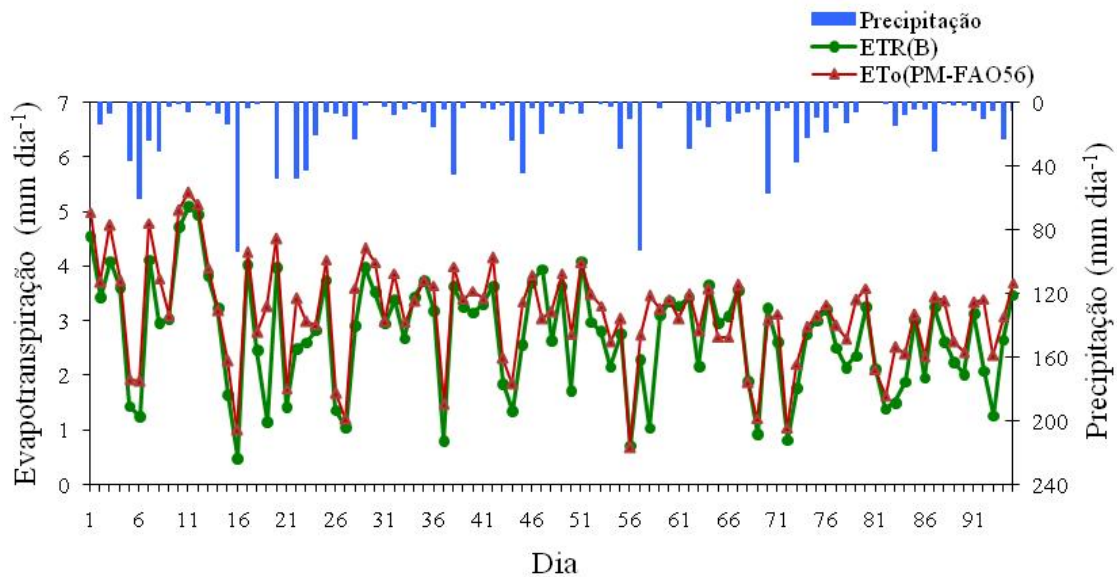


Figura 2 – Variação de 95 dias entre a evapotranspiração real por meio do balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$ ; a evapotranspiração de referência  $ET_o(PM-FAO56)$  por meio da equação Penman-Monteith (FAO 56) e a precipitação



Observa-se que os valores da evapotranspiração real  $ET_R(B)$  variou de 0,49 a 5,10  $\text{mm dia}^{-1}$ , sendo o valor médio de 2,75  $\text{mm dia}^{-1}$ , já a evapotranspiração de referência  $ET_o(\text{PM-FAO56})$  variou de 0,69 a 5,35  $\text{mm dia}^{-1}$ , sendo seu valor médio de 3,12  $\text{mm dia}^{-1}$ . Desta forma, a relação  $ET_R / ET_o$  de 0,88 especifica que a superfície gramada encontra-se em desconforto hídrico.

A análise gráfica dos dados da regressão linear apresenta correlação em relação à reta teórica (reta 1:1 ou de  $45^\circ$ ), reta esta que expressa graficamente a correlação perfeita entre os valores, sendo que a melhor resposta dos valores corresponde a menor dispersão dos pontos próximos da reta 1:1, resultando em  $R^2$  de 0,8179 conforme observado na figura 3.

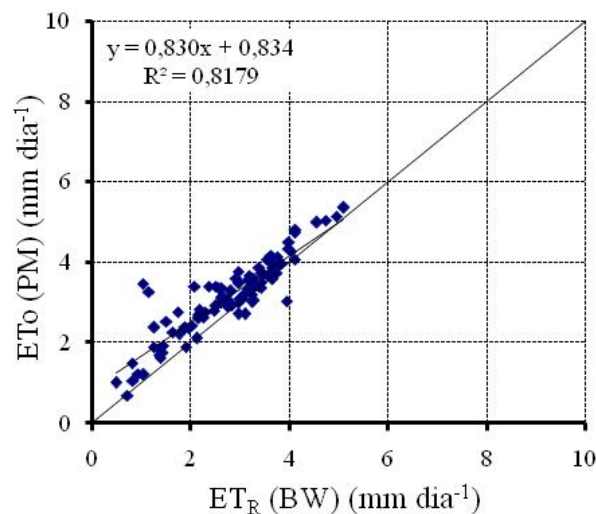


Figura 3 – Correlação dos 95 dias entre a evapotranspiração real por meio do balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  a evapotranspiração de referência  $ET_o(\text{PM-FAO56})$  por meio da equação Penman-Monteith (FAO 56)

Willmott (1985) ressalta que o coeficiente de correlação não deve ser usado individualmente em uma análise de desempenho, devido ao fato de que esse coeficiente, muitas vezes, não está relacionado com o tamanho da diferença entre um valor padrão e um valor previsto por modelos de estimativa ou outros mecanismos de medida diferente do padrão. Assim, emprega-se o índice de concordância “d” de Willmott para quantificar a homogeneidade da dispersão em relação à reta 1:1, conforme equação 15. O resultado do índice de concordância “d” foi de 0,92, índice de desempenho “c” de 0,83, e conseqüentemente o desempenho entre os valores de  $ET_o$  e  $ET_R$  é considerado de “muito bom”. O erro padrão da estimativa (SEE) resultou em 0,51  $\text{mm dia}^{-1}$ .

Mediante os bons índices da análise estatística apresentada, a evapotranspiração real determinada por meio do balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  pode substituir a evapotranspiração de referência determinada pelo método Penman-Monteith  $ET_o$  (PM-FAO56).

Observou-se também o comportamento da evapotranspiração com relação ao saldo de radiação e a relação entre a  $ET_R$  e  $ET_o$  em dois períodos – (A) em sete dias do mês de março e (B) em sete dias do mês de julho, conforme figuras 4 e 5.

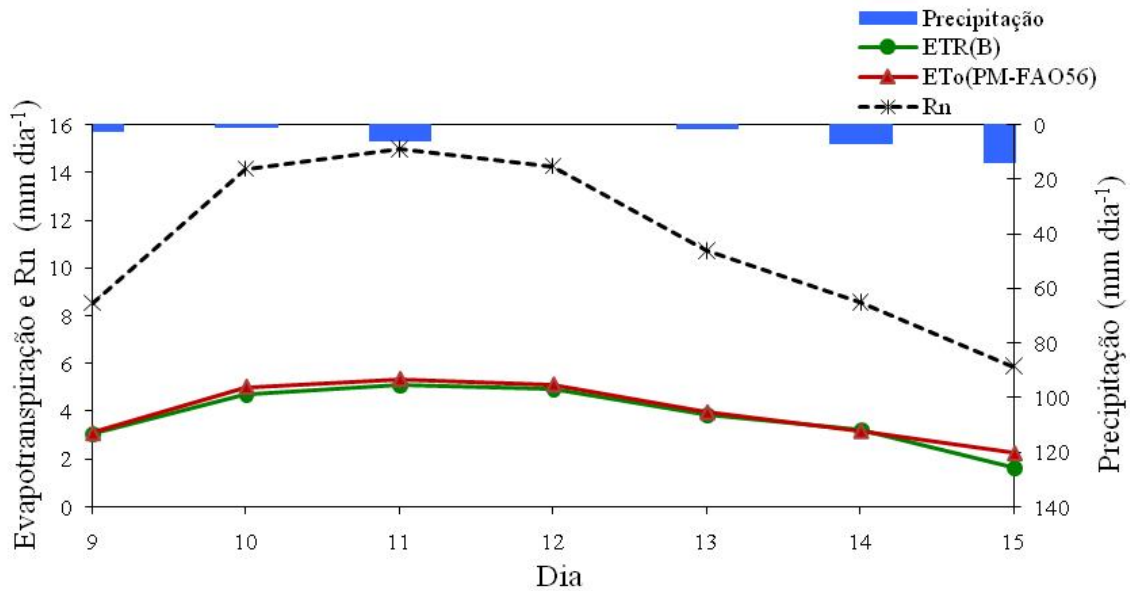


Figura 4 – “Período A”: evapotranspiração Real  $ET_R(B)$  por meio do balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  a evapotranspiração de referência  $ET_o(PM-FAO56)$  por meio da equação Penman-Monteith (FAO 56) e saldo de radiação ( $R_n$ ) em 7 dias do mês de março

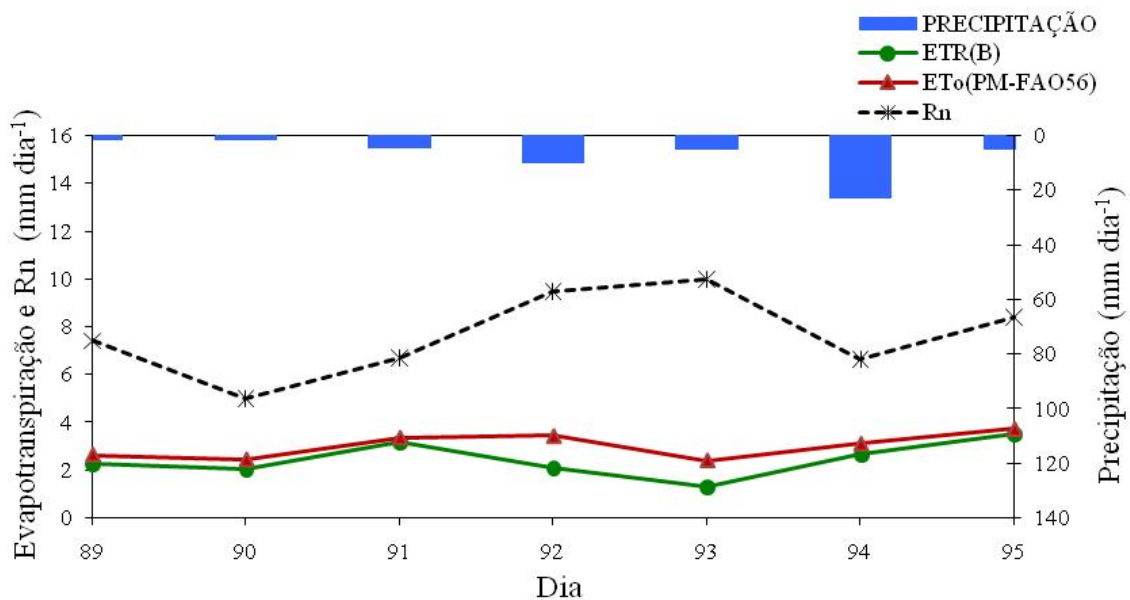


Figura 5 – “Período B”: evapotranspiração real  $ET_R(B)$  por meio do balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  a evapotranspiração de referência  $ET_o(PM-FAO56)$  por meio da equação Penman-Monteith (FAO 56) e saldo de radiação ( $R_n$ ) em 7 dias do mês de julho

Observa-se que no "período A" os valores de  $R_n$  oscilaram de 5,87 a 14,98 mm dia<sup>-1</sup> e o percentual da radiação líquida em relação a  $ET_R(B)$  é de 34% e em relação a  $ET_o(PM-FAO56)$  é de 36%. Em mesma comparação com relação ao "período B", observa-se que os valores de  $R_n$  oscilaram de 4,95 a 9,95 mm dia<sup>-1</sup> e o percentual da radiação líquida em relação a  $ET_R(B)$  é de 32%, e em relação a  $ET_o(PM-FAO56)$  é de 39%.

Observa-se pela análise gráfica da figura 4 que no "período A" a evapotranspiração real está muito próxima da evapotranspiração de referência, demonstrando conforto hídrico da grama, pois ocorreu a influência de eventos chuvosos antecedentes ao período em valor considerável (183,60 mm). Entretanto no "período B" (figura 5), ocorreram eventos chuvosos antecedentes ao período com magnitude de 90,10 mm, menor que no "período A". Assim, a evapotranspiração de referência distancia-se mais da evapotranspiração real, decorrente do desconforto hídrico da grama.

#### **4 – CONCLUSÕES**

O resultado médio diário da evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith (FAO 56) (3,12 mm dia<sup>-1</sup>) apresenta valor levemente superior ao da evapotranspiração real pelo balanço de energia-razão de Bowen (2,75 mm dia<sup>-1</sup>), comprovando desconforto hídrico na área de estudo. Entretanto, os índices estatísticos ( $R^2=0,8179$  e desempenho "muito bom") comprovam que a evapotranspiração real determinada por meio do balanço de energia-razão de Bowen  $ET_R(B)$  pode substituir a evapotranspiração de referência determinada pelo método Penman-Monteith  $ET_o(PM-FAO56)$ .

#### **5 – AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao CNPq, FINEP e CAPES pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa e concessão de bolsas de doutorado.

#### **BIBLIOGRAFIA**

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998) Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and Drainage paper 56. Rome, 297p.

AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da, SILVA, V. P. R. (2003). Water requirements of irrigated mango orchards in northeast Brazil. *Agricultural Water Management*. 58, pp. 241 – 254.

AZEVEDO, P. V. de; SOUZA, C. B. de; SILVA, B. B. da, SILVA, V. P. R. (2007). Water requirements of pineapple crop grown in a tropical environment, Brazil. *Agricultural Water Management*. 88, pp. 201 – 208.

BACK, A. J. (2007) Variação da evapotranspiração de referência calculada em diferentes intervalos de tempo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.1, jan./abr. pp.139-145.

CAMARGO, A.P; SENTELHAS, P.C. (1997) Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.5, n.1, maio, pp. 89-97.

GEO BRASIL (2007) Recursos Hídricos: componente da série de relatórios sobre o estado e perspectivas do meio ambiente no Brasil. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA; 264 p.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. de A.; BORGES, E.; SILVA, I. de F. da; LIRA, C. A. B. de O. (2005a). Balanço de energia em solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.9, n.4, pp. 527 – 534.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. de O.; SILVA, I. de F. da (2005b). Estimativa da evapotranspiração em uma cultura de feijão caupi nas condições de brejo paraibano. *Agropecuária Técnica.*, v.26, n.2, pp. 86 – 92.

LIMA, J. R. de S.; ANTONINO, A. C. D.; SOARES, W. A. B. de O.; SILVA, I. de F. da (2006). Estimativa da evapotranspiração do feijão caupi utilizando o modelo de Penman-Monteith. *Irriga, Botucatu*, v.11, n.4, pp. 447-491.

OLIVEIRA, L.M.M. Avaliação da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando lisímetro de pesagem hidráulica e métodos indiretos. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2007. 111p. Dissertação de Mestrado.

OLIVEIRA, L.M.M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; AZEVEDO, J.R.G.A.; SANTOS, F. X. (2008). Evapotranspiração de referência na bacia experimental do riacho Gameleira – PE, utilizando-se lisímetro e métodos indiretos. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, Vol. 3, No 1, pp. 58-67.

MMA - PLANO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (2006) Síntese Executiva. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília: MMA, 135 p.

RIBEIRO, A.C.; VOLPE, A.C.; ESCOBEDO, J.F. (2008) Estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Penman-Monteith (FAO-56) com saldo de radiação medido por diferentes sensores. *Agronomia Tropical*, 58, 2008, pp 81-84.

SANTIAGO, A.V.; PEREIRA, A.R.; FOLEGATTI, M.V.; MAGGIOTTO, S.R. (2002) Evapotranspiração de referência medida por lisímetro de pesagem e estimada por Penman monteith (FAO-56), nas escalas mensal e decenal. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v.10 n.1, abril, pp. 57-66.

TODD, R.W.; EVETT, S.R.; HOWELL, T.A. (2000). The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.103, n.4, pp.335-348.

WILLMOTT, C.J.; CKLESON, S.G.; DAVIS, R.E. (1985). Statistics for the evaluation and comparison for models. *Journal of Geophysical Research*, Ottawa, v90, n C5, pp. 8995-9005.

ZHANG B.Z.; KANG S.Z.; ZHANG L.; DU T. S.; LI S. E.; YANG X. Y. (2007). Estimation of seasonal crop water consumption in a vineyard using Bowen ratio-energy balance method. *Hydrological Processes*. 21, pp. 3635 – 3641.