

ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA HORÁRIA E DIÁRIA COM O MODELO ASCE-PM

SANTOS, A. A.¹; SOUZA, J. L. M.²; ROSA, S. L. K.¹

¹Pós-Graduação em Ciência do Solo, UFPR; ²Professor, DSEA/SCA/UFPR, e-mail: jmoretti@ufpr.br

RESUMO

Teve-se por objetivo no presente trabalho verificar a magnitude e tendência (diária e estacional) da evapotranspiração de referência horária (ET_{oh}), bem como associar e analisar séries de ET_{od} e o somatório da ET_{oh} em 24 horas (ET_{o24h}), estimadas com o modelo ASCE-PM, em dois tipos climáticos (Cfa e Cfb) do Estado do Paraná. Para a estimativa da ET_{oh} com o modelo ASCE-PM foram necessários dados climáticos de: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR; %); temperaturas máxima e mínima do ar (T; °C); radiação solar (Rs; MJ m⁻²); e, velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 ; m s⁻¹). Os dados climáticos horários são das estações meteorológicas Maringá (clima Cfa) e Curitiba (clima Cfb), pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), medidos no período entre 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018. A comparação entre os valores de “ ET_{o24h} vs ET_{od} ” foi realizada por meio da raiz quadrada do erro quadrático (RMSE), coeficiente de correlação de Pearson (r) e índice de concordância “d”. Nas análises observou-se que: i) Não houve variações significativas entre ET_{oh} para os dois climas analisados; ii) Os maiores valores de ET_{oh} em Curitiba (clima Cfb) e Maringá (clima Cfa) ocorreram entre 12:00 h e 14:00 h; iii) A tendência da ET_{oh} ao longo do dia assemelha-se a uma distribuição Gaussiana, correspondendo inversamente à umidade relativa e diretamente com temperatura, radiação solar incidente e velocidade do vento; iv) As associações “ ET_{od} vs ET_{o24h} ” tiveram ótimos resultados, indicando que a ET_{oh} tem bom potencial para ser utilizada no manejo e planejamento na área de engenharia de água e solo.

Palavras-chave: Ciclo hidrológico; modelo matemático; relações híricas; agrometeorologia.

INTRODUÇÃO

A evapotranspiração (ET) é o termo utilizado para descrever a perda de água por evaporação na superfície do solo e transpiração da planta. Estudos sobre a evapotranspiração são importantes para o gerenciamento dos recursos hídricos e do solo, bem como compreensão das mudanças climáticas (Djaman et al., 2018).

O termo evapotranspiração de referência (ET_o) refere-se à uma cultura hipotética de referência, com altura de cultivo de 0,12 m, resistência superficial fixa de 70 s m⁻¹ e albedo de 0,23. A superfície de referência assemelha-se a uma extensa superfície gramada, bem regada, com altura uniforme, em crescimento ativo e sombreando completamente a superfície do solo (Allen et al., 1998).

A ET_o pode ser medida diretamente com equipamentos considerados exatos e diretos, denominados evapotranspirômetros ou lisímetros, mas que possuem custos elevados, demandando tempo e mão de obra especializada para a condução de experimentos cuidadosamente planejados. Os métodos indiretos são uma alternativa para a determinação da ET_o, os quais proporcionam resultados satisfatórios, minimizam custos e tempo, em comparação aos métodos diretos (Souza, 2017).

O intervalo de tempo considerado para o cálculo da ET_o pode variar conforme a finalidade do estudo. Na literatura é comum a utilização de periodicidades mensal, diária ou mesmo horária. A escolha da periodicidade depende da precisão desejada e disponibilidade de dados para utilização dos modelos. Estudos apontam que o cálculo da evapotranspiração na periodicidade horária é mais precisa (Suleiman et al., 2009; Lopes e Leal, 2016).

Na atualidade, o modelo PM-ASCE é considerado padrão para a estimativa da ET_o. Além de realizar estimativas para períodos diários e horários, o modelo também considera dois tipos de superfícies de referência: capim cortado (cultura agrícola de altura baixa; 12 cm) e alfafa (cultura agrícola mais alta e áspera; 50 cm) (Carvalho et al., 2011; Souza, 2017).

Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo no presente estudo verificar a magnitude e tendência (diária e estacional) da evapotranspiração de referência horária (ET_{o_h}), bem como associar e analisar séries de ET_o diária (ET_{o_d}) e o somatório da ET_o horária em 24 horas (ET_{o_{24h}}), estimadas com o modelo ASCE-PM, em dois tipos climáticos (Cfa e Cfb) do Estado do Paraná

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em duas estações meteorológicas do Estado do Paraná (Figura 1), região Sul do Brasil, localizadas em Curitiba (clima Cfb; -25,45° S de Latitude; -49,23° W de Longitude) e Maringá (clima Cfa; -23,41° S de Latitude; -51,93° W de Longitude). O clima subtropical Cfa apresenta boa distribuição da precipitação pluviométrica ao longo do ano, em média 1500 mm ano⁻¹, e temperatura média anual de 19 °C. O clima subtropical Cfb apresenta precipitações bem distribuídas ao longo do ano, sendo superiores a 1200 mm ano⁻¹, e verões amenos com temperatura média anual de 17 °C (Alvares et al., 2013).

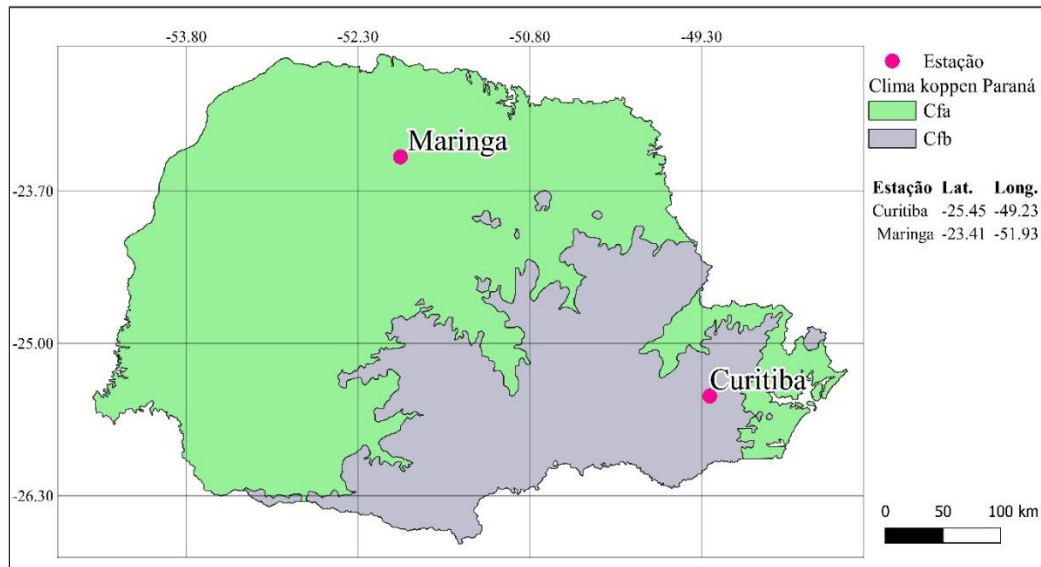


Figura 1 – Posição das estações meteorológicas de Curitiba (clima Cfb) e Maringá (clima Cfa), e classificação climática do Estado do Paraná. Fonte: Adaptado de IAPAR (2019) e IBGE (2010).

A estimativa da ETo horária (ETo_h) e diária (ETo_d) foi realizada com a equação padronizada de Penman-Monteith, apresentada por *American Society of Civil Engineers* (ASCE-EWRI, 2005), utilizando cultura de porte baixo com 12 cm. Os cálculos foram realizados em planilhas eletrônicas especialmente desenvolvidas para essa finalidade.

$$ETo = \frac{(0,408 \cdot \Delta \cdot (R_n - G) + \gamma \cdot \frac{C_n}{(T + 273)} \cdot u_2 \cdot (e_s - e_a))}{\Delta + \gamma \cdot (1 + C_d \cdot u_2)} \quad (1)$$

Sendo: ETo – evapotranspiração de referência horária ou diária (ETo_h em mm h^{-1} ; ou, ETo_d em mm dia^{-1} , respectivamente); 0,408 – coeficiente da equação ($\text{m}^2 \text{ mm MJ}^{-1}$); Δ – declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n – saldo de radiação líquida na superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); G – balanço do fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ ou $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$); γ – constante psicrométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); C_n – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerado ($C_{n_{\text{horária}}} = 37 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, ou $C_{n_{\text{diária}}} = 900 \text{ K mm s}^3 \text{ Mg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ para cobertura do solo com grama curta); T – temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$); u_2 – velocidade do vento a dois metros de altura (m s^{-1}); e_s – pressão de saturação de vapor (kPa); e_a – pressão atual do vapor (kPa); C_d – constante relacionada ao tipo de vegetação e escala de tempo considerada ($C_{d_{\text{diurno}}} = 0,24 \text{ s m}^{-1}$ para período diurno e grama curta, ou $C_{d_{\text{noturno}}} = 0,96 \text{ s m}^{-1}$ para período noturno e grama curta, ou $C_{d_{\text{diária}}} = 0,34 \text{ s m}^{-1}$ para grama curta).

Foram utilizadas séries de dados de duas estações meteorológicas automáticas (Figura 1), obtidas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendendo período entre 01 de dezembro de 2016 a 08 de novembro de 2018, possuindo dados horários referentes à: umidade relativa máxima e mínima do ar (UR; %); temperaturas máxima e mínima do ar (T ; $^\circ\text{C}$); radiação solar incidente (R_s ; MJ m^{-2}); e, velocidade do vento a 2 m de altura (u_2 ; m s^{-1}).

Nas análises, os 24 valores de ETo_h de um dia foram somados (ETo_{24h}), permitindo a comparação estatística com a ETo_d do respectivo dia. As séries de valores de ETo obtidos com o modelo ASCE-PM horário (ETo_h , que somados geraram os valores de ETo_{24h}) e diário (ETo_d) foram comparados e validados estatisticamente empregando análises de regressão, e os principais índices e coeficientes recomendados na literatura (Souza, 2017):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (ETo_{24hi} - ETo_{di})^2} \quad (2)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(ETo_{di} - \overline{ETo_d}) \cdot (ETo_{24hi} - \overline{ETo_{24h}})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ETo_{di} - \overline{ETo_d})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (ETo_{24hi} - \overline{ETo_{24h}})^2}} \quad (3)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (ETo_{24hi} - ETo_{di})^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|ETo_{24hi} - \overline{ETo_d}| |ETo_{di} - \overline{ETo_d}|)^2}} \quad (4)$$

Sendo: RMSE – Raiz quadrada do erro quadrado médio ($mm \text{ dia}^{-1}$); r – coeficiente de correlação de Pearson (adimensional); d – índice de concordância “d” de Willmott (1982) (adimensional); n – número de horas analisadas (adimensional); ETo_{24hi} – i-ésimo valor de ETo diária resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia ($mm \text{ dia}^{-1}$); ETo_{di} – evapotranspiração de referência estimada com o método padrão Penman-Monteith no i-ésimo dia ($mm \text{ dia}^{-1}$); $\overline{ETo_d}$ – média dos valores de ETo estimados com o método padrão para todos os dias analisados no período ($mm \text{ dia}^{-1}$); $\overline{ETo_{24h}}$ – média dos i-ésimos valores de ETo diária do período, resultante do somatório do h-ésimo valor de evapotranspiração de referência horária de um mesmo dia ($mm \text{ dia}^{-1}$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tendência da evapotranspiração de referência horária (ETo_h) ao longo do dia

Em média, os valores máximos de ETo_h alcançados ao longo das 24 horas do dia tiveram valores máximos ocorrendo entre as 12:00 h e 14:00 h (Figura 2). Os maiores valores de ETo_h coincidiram com os horários em que ocorreram os maiores valores de T, Rs, u_2 e menores valores de UR (Figura 3). As tendências verificadas para ETo_h são bem evidentes, devido a dependência da evapotranspiração das variáveis T, Rs, u_2 e UR.

Ismael Filho et al. (2015) consideram que a UR tem relação inversa à ETo . Assim, quanto maior a UR menor a ETo_h . A consideração dos autores também confirma os resultados obtidos com a ETo_h para as estações analisadas (Figuras 2 e 3). Um aspecto interessante quando se trabalha com o método ASCE-PM na periodicidade horária, refere-se à ocorrência de valores negativos nas estimativas da ETo_h (Figura 2).

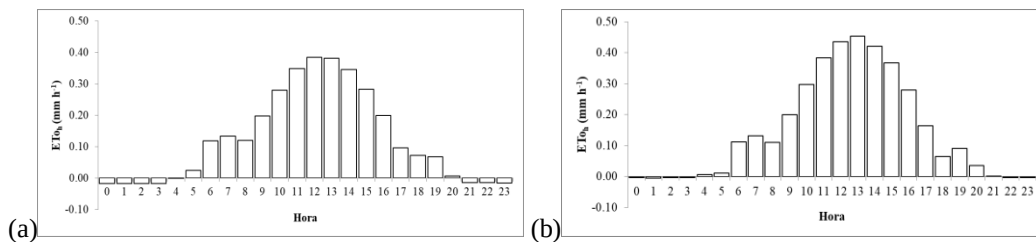
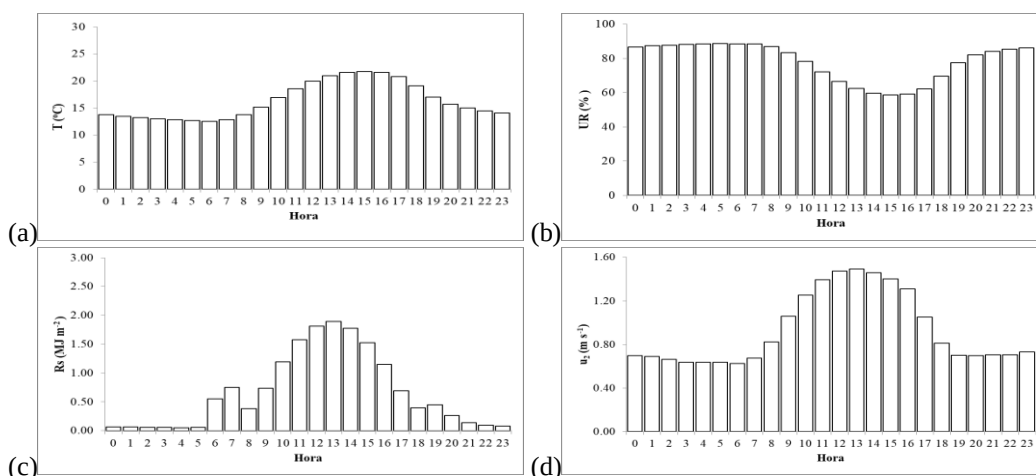
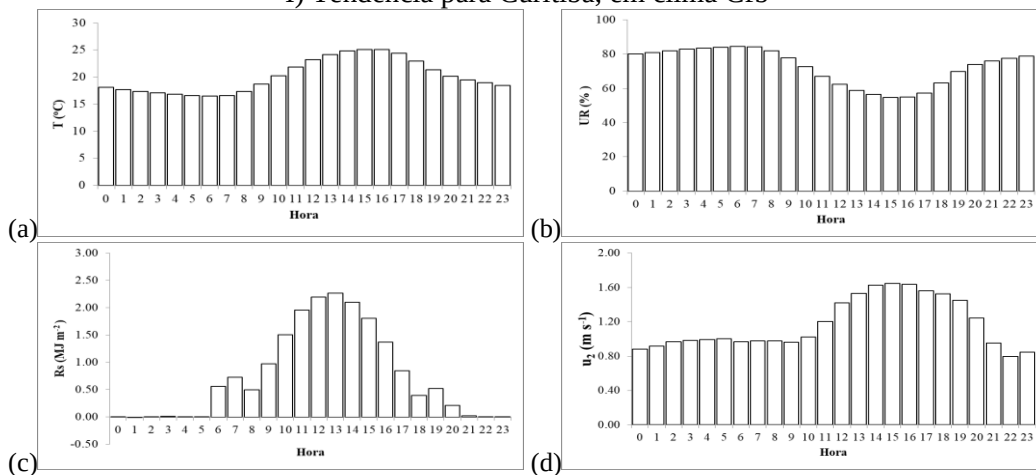


Figura 2 – Médias e tendência da evapotranspiração de referência horária (ET_{oh}), das estações meteorológicas analisadas no Estado do Paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018, conforme: a) ET_{oh} média da estação Curitiba (clima Cfb); e, b) ET_{oh} média da estação Maringá (clima Cfa).



I) Tendência para Curitiba, em clima Cfb



II) Tendência para Maringá, em clima Cfa

Figura 3 – Médias e tendência de variáveis climáticas, na periodicidade horária, das estações meteorológicas Curitiba (clima Cfb) e Maringá (clima Cfa), no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018: a) temperatura do ar (T); b) umidade relativa do ar (UR); c) radiação solar incidente (R_s); e, d) velocidade do vento a dois metros de altura (u_2).

Nas análises realizadas no presente trabalho (Figura 2), os valores de ET_{oh} próximos a zero ou negativos ocorreram, em média, entre 22:00 h e 03:00 h para o clima Cfa (Maringá), e entre 21:00 h e 03:00 h para o clima Cfb (Curitiba).

A estimativa de valores positivos ou negativos de ET_{oh} horária no período noturno é um fato singular, quando comparada à estudo sobre evapotranspiração diária. Embora haja evidências de perdas hídricas pelas plantas, em particular as C3 (Biudes, 2006; Gentil, 2010; Silva, 2017), Guimarães et al. (2013) relatam que valores negativos nas estimativas da ET_{oh} podem ter como causa pequenos erros dos sensores de R_s , devido às mudanças graduais na atmosfera e radiação. Além disso, por melhor que seja o instrumento utilizado para medir uma grandeza física, naturalmente o valor medido não é igual ao valor real, pois todo processo de medida introduz erro, e levar à valores negativos de ET_{oh} estimada.

Logo, a estimativa de valores negativos de ET_{oh} podem ser provenientes de erro na medição dos sensores. Como os valores negativos são muito pequenos, no presente trabalho foram considerados iguais a zero. Yildirim et al. (2004) comparando ET_{oh} e ET_{od} na Planície de Harran, verificaram que os valores de ET_{oh} foram próximos ou iguais a zero nas horas noturnas, ocorrendo rápido aumento entre as 6:00 h e 12:00 h da manhã. Embora os climas tratados no presente estudo (Cfa e Cfb) e Harran sejam diferentes, foram observados resultados de tendência da ET_{oh} muito parecidos (Figura 2).

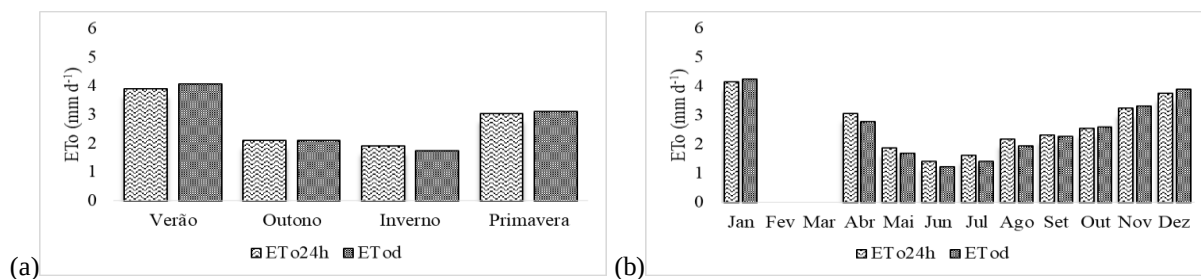
Associação entre ET_{od} e ET_{24h} ao longo do ano, para as estações Curitiba e Maringá

A ET_{od} diária obtida com o método padrão ASCE-PM (ET_{od}) ou com o somatório da ET_{oh} (ET_{24h}) não evidenciaram grandes variações. Contudo, observou-se tendência de maiores valores de ET_{od} no clima Cfa (Maringá), principalmente durante a primavera e verão. Para o clima Cfa, obteve-se ET_{24h} média de 3,51 mm dia⁻¹ e ET_{od} média de 3,19 mm dia⁻¹, resultando em diferença média de apenas 0,32 mm dia⁻¹ (9,6%). Para o clima Cfb (Curitiba), obteve-se ET_{24h} média de 2,74 mm dia⁻¹ e ET_{od} média de 2,75 mm dia⁻¹, resultando em diferença média de de 0,01 mm dia⁻¹ (0,4%) (Tabela 1 e Figuras 4 e 5). O presente estudo obteve, mesmo em período maior, que as variações entre ET_{od} e ET_{24h} foram pequenas, resultando em boas correlações (Tabela 1). Noia et al. (2014) em estudo realizado no município de Dourados-MS, também verificaram que há pouca diferença entre as duas formas (diária e horária) de estimativa da ET_{od} , obtendo-se baixos desvios resultantes das duas metodologias de cálculo.

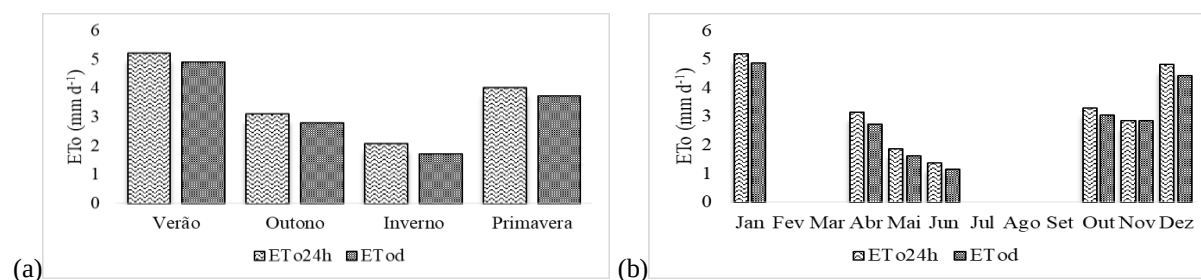
Tabela 1. Média estacional⁽¹⁾ da ET_{od} e ET_{24h} (mm d⁻¹) nas estações meteorológicas Curitiba (clima Cfb) e Maringá (clima Cfa), Estado do paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018.

Locais	- Primavera -		- Verão -		- Outono -		- Inverno -		- Média anual -		Diferença
	ET _{O24h}	ET _{Od}	ET _{O24h}	ET _{Od}	ET _{O24h}	ET _{Od}	ET _{O24h}	ET _{Od}	ET _{O24h}	ET _{Od}	
Curitiba	-----Clima Cfb-----										
	3,05	3,10	3,90	4,07	2,10	2,10	1,92	1,73	2,74	2,75	0,4%
Maringá	-----Clima Cfa-----										
	4,10	3,82	5,22	4,90	3,04	2,70	1,67	1,35	3,51	3,19	9,6%
Diferença	29%	21%	29%	19%	37%	25%	14%	25%	25%	15%	

⁽¹⁾ Considerou-se as estações do ano ocorrendo nos seguintes períodos: Verão entre 21 de dezembro e 20 de março; Outono entre 21 de março e 20 de junho; Inverno entre 21 de junho e 22 de setembro; e, Primavera entre 23 de setembro e 20 de dezembro.



I) Tendências para Curitiba, em clima Cfb



II) Tendências para Maringá, em clima Cfa

Figura 4 – ETo_d e ETo_{24h} das estações meteorológicas Curitiba (clima Cfb) e Maringá (clima Cfa), no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018: a) tendência estacional; e, b) tendência mensal.

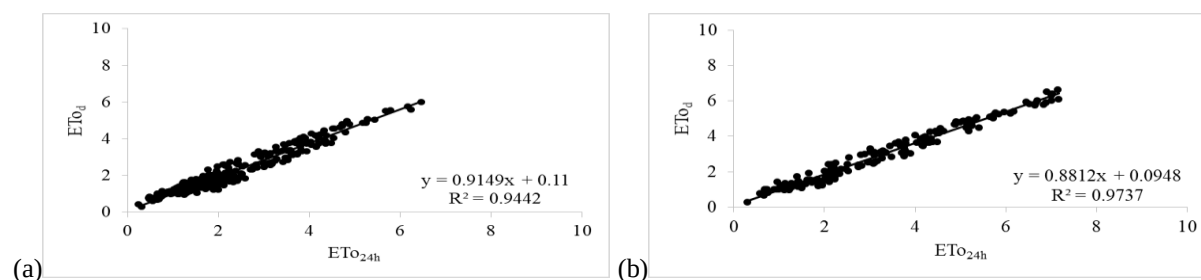


Figura 5 – Análises de regressão linear entre “ ETo_d vs ETo_{24h} ”, de duas estações meteorológicas no Estado do Paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018: a) Curitiba, clima Cfb; e, b) Maringá, clima Cfa.

Quanto a magnitude dos valores de ETo , Nolz e Rodney (2019) avaliando o modelo ASCE para estimar a ETo horária e diária, em clima sub úmido no nordeste da Austrália, obtiveram valores entre 0 e 8 mm dia⁻¹. A mesma faixa de valores foi verificada para as duas localidades analisadas (Figura 5). Medeiros (2002) relata que em regiões áridas, secas e quentes os valores são mais altos, devido a maior disponibilidade de energia e poder evaporante da atmosfera. Em climas úmidos, como no Estado do Paraná, a elevada UR reduz a ETo , mesmo havendo energia disponível. Allen et al. (1998) também considera que a presença de nuvens em regiões de clima úmido proporciona valores mais baixos de ETo . Dhungel et al (2019) estudando a evapotranspiração em clima BSh (semi-árido quente), obtiveram valores de ETo_d média em lisímetro variando entre 0 e 12 mm dia⁻¹.

De forma geral, os resultados evidenciaram tendência mensal da ET_{o24h} muito parecida com a ET_{od} (Figura 4). Este aspecto também pode ser confirmado com os valores médios (mm dia^{-1}) dos índices “d” alcançados nas duas localidades analisadas (Tabela 2): “d” = 0,88 para Maringá, clima Cfa; e, “d” = 0,97 para Curitiba, clima Cfb. A tendência estacional da ET_{o24h} e ET_{od} foram similares e próximas para as duas estações meteorológicas analisadas, principalmente na primavera e verão. Para o clima Cfa (Maringá), para primavera e verão obteve-se índice “d” = 0,97 para ambos os períodos, e para o clima Cfb (Curitiba) verificou-se índice “d” = 0,99 na primavera e “d” = 0,98 no verão.

Tabela 2. Valores estacionais e anuais da raiz quadrada do erro quadrado médio (RMSE; mm dia^{-1}), índice “d” (adimensional) e coeficiente de correlação (r; adimensional) das associações entre ET_{od} vs ET_{o24h} , das estações meteorológicas Curitiba e Maringá, no Estado do Paraná, no período entre 01 de dezembro de 2016 e 08 de novembro de 2018.

Estação meteorológica	Índices	-----Estações do ano-----				Média anual
		Primavera	Verão	Outono	Inverno	
Curitiba (Clima Cfb)	RMSE	0,25	0,32	0,05	0,36	0,25
	d	0,99	0,98	0,96	0,95	0,97
	r	0,99	1,00	1,00	0,97	0,99
Maringá (Clima Cfa)	RMSE	0,49	0,45	0,57	0,40	0,48
	d	0,97	0,97	0,95	0,61	0,88
	r	0,99	0,99	0,99	0,94	0,98

Lopes e Leal (2016) associando “ ET_{od} vs ET_{o24h} ” para clima semiárido obtiveram índice “d” de concordância de Willmott variando entre 0,98 a 0,99. No presente trabalho observou-se menores índices “d” nos períodos de outono (0,95 para Cfa e 0,96 em Cfb) e inverno (0,60 no clima Cfa e 0,95 para o Cfb). O grande número de falhas nos dados de entrada para realizar a estimativa da ET_{o} , principalmente no inverno, pode ter influenciado as diferenças nos resultados obtidos com as duas metodologias. No clima Cfa (Maringá) houve maiores falhas de dados e teve-se menor índice “d”. No clima Cfb foi possível trabalhar com maior número de dados e teve-se maior índice “d”.

Os valores de coeficientes de correção das associações entre “ ET_{od} vs ET_{o24h} ” foram muito promissores no presente estudo. O menor valor médio foi encontrado para o Clima Cfa de Maringá ($r = 0,94$), tendo-se coeficiente de correlação entre 0,99 e 1,00 no clima Cfb de Curitiba (Tabela 2). Treder e Klamkowski (2017) associando “ ET_{od} vs ET_{o24h} ” com o modelo ASCE-PM em clima continental úmido na Polônia, também obtiveram coeficiente de correlação $r = 0,99$, no período de maio e setembro de 2016. Em estudo semelhante em clima subúmido, Nolz e Rodný (2019) também obtiveram coeficiente de correção $r = 0,98$ na associação entre “ ET_{od} vs ET_{o24h} ”.

Nolz e Rodný (2019) em clima sub úmido obtiveram valores de $RMSE = 0,27 \text{ mm dia}^{-1}$ nas associações entre “ ET_{od} vs ET_{o24h} ”. Exceto para a o clima Cfb de Curitiba, nos períodos de primavera e outono (Tabela 2), no presente estudo os valores de RMSE foram maiores, sendo o resultado um reflexo das falhas de leituras ocorridas no período.

Muitos estudos analisando as associações entre “ ET_{0d} vs $ET_{0Lisímetro}$ ” e “ ET_{024h} vs $ET_{0Lisímetro}$ ” encontraram melhores resultados com a ET_{024h} estimada com o método ASCE-PM (Nolz e Rodný, 2019; Dhungel et al., 2019). As análises realizadas no presente estudo (Tabelas 2 e 3 e Figuras 4 e 5) evidenciaram que os valores de ET_{0d} e ET_{024h} tiveram a mesma tendência, foram próximos e bem associados nas localidades de Curitiba (Clima Cfb) e Maringá (Clima Cfa). Os resultados obtidos são muito interessantes, pois possibilitam a realização de desdobramentos de estudos para o planejamento, projeto e manejo da água na agricultura paranaense, considerando alternativas de perda de água do sistema solo-planta ao longo das horas do dia.

CONCLUSÕES

A ET_{0h} tem maiores valores entre as 12:00 h e 14:00 h nas estações de Curitiba (clima Cfb) e Maringá (clima Cfa). O formato da tendência da ET_{0h} assemelha-se a uma distribuição Gaussiana, correspondendo inversamente à umidade relativa e diretamente com a temperatura, radiação solar incidente e velocidade do vento;

A ET_{024h} associou-se muito bem a ET_{0d} obtida com o método padrão ASCE-PM, com a vantagem de possibilitar melhor entendimento e acompanhamento da perda de água em periodicidade horária, desde que se tenha dados climáticos disponíveis em quantidade e qualidade para a periodicidade horária.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. **Irrigation and Drainage**, Roma, FAO, Paper n.56.1998.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. J.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.2, n.7, p.11 – 728. 2013.
- ASCE-EWRI. The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. Report of the Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration. Reston: **Institute of the American Society of Civil Engineers**; 2005.
- BIUDES, M. S. Estimativa da transpiração em plantas de manfabeira. Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal do Mato Grosso. Cuiabá. 2006.
- CARVALHO, L. G.; RIOS, G. F. A.; MIRANDA, W. L.; CASTRO NETO, P. Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa. Goiânia, **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.3, p.456-465, 2011.
- DHUNGEL, R.; AIKEN, R.; COLAIZZI, P. D.; LIN, X.; et al. Increased Bias in Evapotranspiration Modeling Due to Weather and Vegetation Indices Data Sources. Published in **Agronomy Journal**, v.3, p.1407-1424. 2019.
- DJAMAN, K.; KOUDAHE, K.; LOMBARD, K.; O'NEILL, M. Sum of hourly vs. daily Penman-Monteith Grass-Reference evapotranspiration under Semiarid and arid climate. **Irrigation & Drainage Systems Engineering**, v.7, n.1. 2018. Doi: 10.4172/2168-9768.1000202.

- GENTIL, M. S. Transpiração e eficiência do uso da água em árvores clonais de *Eucalyptus* aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia. **Dissertação de Mestrado**. Silvicultura e Manejo Florestal. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba. 2010.
- GUIMARÃES, P. L. O.; SANTANA, M. A. A.; VILELA, W. A.; PAES, T. F.; et al. Avaliação metrológica de um sistema de calibração *indoor* para piranômetros baseado em um simulador solar. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.4, n.1, p.17-24. 2013.
- IAPAR. Instituto agrônomo do Paraná. Download de shapefile contendo a classificação climática predominante do Estado do Paraná. Acesso em: > <http://www.iapar.br/><. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Realizado download de shapefile referente aos municípios do Estado do Paraná. Acesso em:> ftp://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/mapas_para_fins_de_levantamentos_estatisticos/censo_demografico_2010/mapas_municipais_estatisticos/<. 2010.
- ISMAEL FILHO, A.; BORGES, P. F.; ARAÚJO, L. S.; PEREIRA, A. R.; et al. Influência das variáveis climáticas sobre a evapotranspiração. **Gaia Scientia**, v.9, n.1, p.62-66. 2015.
- LOPES, I.; LEAL, B. G. Evapotranspiração horária x diária utilizando Penman-Monteith para o polo de desenvolvimento Petrolina-PE/Juazeiro-BA. **Revista Brasileira e Agricultura Irrigada**, v.10, n.5, p. 914-924. 2016.
- MEDEIROS, A. T. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir da equação de Penman-Monteith, de medidas lisimétricas e de equações empíricas, em Paraíba, CE. **Tese de Doutorado**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Área de concentração: Irrigação e Drenagem. Piracicaba, São Paulo. 2002.
- NOIA, C. P. Z.; PEREIRA, S. B.; ROSA, D. R. Q.; ALMEIDA, R. A. Evapotranspiração de referência estimada pelos métodos Penman-Monteith-FAO (56) e Hargreaves & Samani para o município de Dourados, MS. Dourados, **Revista Agrarian**, v.7, n.24, p.300-308, 2014. ISSN: 1984-2538.
- NOLZ, R.; RODNÝ, M. Evaluation and validation of the ASCE standardized reference evapotranspiration equations for a subhumid site in northeastern Austria. **Journal of Hydrology and Hydromechanics**, v.67, n.3, p.289-296. 2019. Doi: 10.2478/johh-2019-0004.
- SOUZA, J. L. M. Ciclo da água na agricultura: fundamentos para o estudo do sistema solo-planta-atmosfera. Curitiba: Plataforma Moretti/DSEA/SCA/UFPR, 2017. (Manual didático).
- SULEIMAN, A.; HOOGENBOOM, G. A comparison of ASCE and FAO-56 reference evapotranspiration for a 15-min time step in humid climate conditions. **Journal of Hydrology**, v.375, n.3-4, p.326-333. 2009. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.06.020.
- TREDER, W.; KLAMKOWSKI, K. An hourly reference evapotranspiration model as a tool for estimating plant water requirements. Polska Akademia Nauk, Oddział w Krakowie. **Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich infrastructure and ecology of rural areas**, v.2, n. 1, p.469-481. 2017. Doi: 10.14597/infraeco.2017.2.1.035.
- WILLMOTT, C. J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin American Meteorology Society**, v.63, n.11, p.1309-1313, 1982.
- YILDIRIM, Y. E.; ÇAKMAK, B.; KOSE, T. Comparison of hourly and daily reference evapotranspiration values for GAP project area. **Journal of Applied Sciences**, v.4, n.1, p.53-57. 2004.