

Avaliação de desempenho do modelo SWAT para estimativa da evapotranspiração potencial para a região de Petrolina, Estado de Pernambuco

Teônia Casado da Silva¹
Madson Tavares da Silva¹
Danielle Teixeira Alves da Silva¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Caixa Postal 1524 - Natal/RN – Brasil

teonia_cds@hotmail.com, madson.geotech@gmail.com, danielle_alves01@yahoo.com.br

Abstract. The objective of this paper is to analyze the estimatives of potential evapotranspiration (ETP) resulting from simulations generated by the SWAT model through Penman-Monteith and compare the results found with the data generated by using the Linacre method, using for that matter statistical criteria of performance evaluation. Were used data from the Agrometeorological Station of Bebedouro, which is located in Petrolina, PE, covering the period from January of 1993 to December of 2010. To evaluate the performance of the models we used regression analysis and were obtained coefficients of determination (R^2) coefficients correlation (r), the mean percentage error (MPE), mean absolute error (MPE), the square root of the mean square normalized error (RQMDN). The evaluation of a method's performance is essential to know how close to the actual values will be the results achieved by a given method, allowing its use in providing data for the management of water resources. Activities such as irrigation, which have high water consumption, must conform to the amount of water available and should use appropriate models and efficient irrigation techniques. According to the results, the R^2 was around 83.15%, verifying a trend of underestimation of the simulated values around 18%, which represents an average of about 0.9 mm day^{-1} , while the RQMDN was 16.4%. From the statistical criteria used in this study it can be concluded that the model SWAT performed by the method of Penman Monteith, is presented as an appropriate alternative to provide estimated data ETP.

Palavras-chave: semi-árido, irrigação, gestão, análise estatística.

1 INTRODUÇÃO

A evapotranspiração é definida como sendo o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas (Sentelhas e Angelocci, 2009). No semi-árido brasileiro as altas taxas de evaporação, geralmente superiores à precipitação, reforçam a necessidade de monitoramento dos índices de evapotranspiração.

A estimativa de evapotranspiração potencial (ETP) contribui para desenvolver práticas adequadas para a gestão dos recursos hídricos, uma vez que torna possível a previsão de períodos de maior déficit hídrico, sendo possível a adoção de medidas preventivas para manutenção do abastecimento e de outras atividades de uso consuntivo da água. A agricultura irrigada se apresenta, atualmente, como grande alternativa econômica para o Brasil, em especial para a região Nordeste, assim, é necessário que os recursos hídricos disponíveis sejam usados de forma racional, através da utilização de técnicas apropriadas de manejo da água, do solo e de cultivos (Silva et al., 2005).

Existem diversos métodos para a estimativa da ETP, podemos citar como exemplo os métodos mais utilizados no Brasil, são eles Thornthwaite, Thornthwaite-Camargo (com temperaturaefetiva), Camargo, Hargreaves e Samani, Tanque Classe A, Priestley-Taylor, Linacre e Penman-Monteith (Sentelhas e Angelocci, 2009).

O método Penman-Monteith é considerado, internacionalmente, o mais apropriado para a estimativa da ETP, pois além de procurar representar, de maneira consistente, o fenômeno biofísico da evapotranspiração, é alimentado por quase todos os elementos meteorológicos

observados em estações meteorológicas de superfície (Carvalho et al., 2011). Porém, quando não tiver disponível todos os dados é necessário utilizar um método mais simplificado, como é o caso do método de Linacre.

A evapotranspiração (ET) é um componente essencial tanto do clima quanto do ciclo hidrológico, e tem significativa agrícola, ecológica e implicações hidrológicas. ET utiliza cerca de três quintos da radiação solar anual disponível globalmente recebido na superfície da Terra (Wang e Dickinson, 2012).

Os modelos numéricos aplicados na hidrologia apresentam-se como ferramentas de grande importância nos estudos do ciclo hidrológico e científicos relacionados com a gestão hídrica e problemas práticos. Desde meados dos anos 1960, diversos modelos hidrológicos foram estabelecidos; os modelos têm sido desenvolvidos desde bases mais conceituais simples até mais tarde com o desenvolvimento da computação e inserção dos SIG's desenvolvendo assim os modelos distribuídos de base física. Dentre os modelos distribuídos de base física, o *SoilandWaterAssessment Tool* – SWAT desenvolvido no início de 1990, é um modelo aplicado em escala de bacia hidrográfica (Arnold et al., 1999).

O objetivo deste trabalho é analisar as estimativas da evapotranspiração potencial (ETP) resultantes das simulações geradas pelo modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith e comparar os resultados obtidos com os gerados a partir do método de Linacre para estação meteorológica de Bebedouro (PE), utilizando-se critérios estatísticos para avaliação do desempenho.

2 MATERIAL E METODOS

Para cálculo da ETP foram coletados dados do período de janeiro de 1993 a dezembro de 2010, fornecidos pela Estação Agrometeorológica de Bebedouro (09°09'S; 40°22'W), na Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo BSw^h, semi-árido com temperaturas médias anuais elevadas, da ordem de 26,03°C e precipitação média de 347,8 mm (EMBRAPA SEMI-ÁRIDO, 2013).

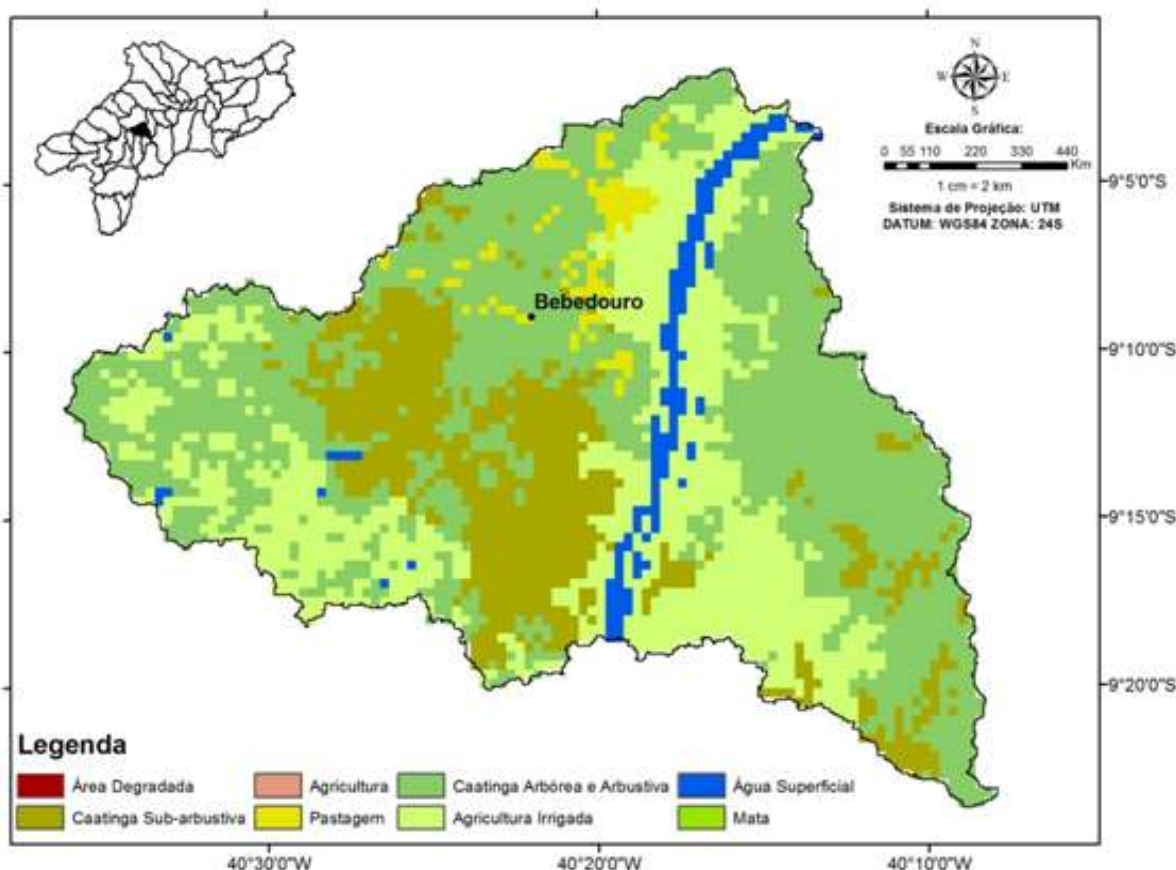


Figura 1. Localização da área de estudo

Evapotranspiração Potencial (ETP)

A evapotranspiração potencial foi calculada pelo modelo SWAT através do método de Penman-Monteith de acordo com a Equação (1). Necessitando, portanto, para a sua estimativa de dados médios climáticos das condicionantes termodinâmicas da atmosfera.

$$ETP = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)} \quad (1)$$

em que:

- R_n: Saldo de Radiação (Mj/m² dia⁻¹),
- G: Fluxo de calor no solo (Mj m⁻² dia⁻¹),
- T_a: Temperatura média do ar (°C),
- u₂: Velocidade média diária do vento a 2m de altura,
- e_s: Pressão de saturação de vapor média diária (kPa),
- e_a: Pressão atual de vapor média diária (kPa),
- Δ: Declividade da curva de pressão de vapor.
- Γ: Constante psicrométrica (kPa/°C).

A ETP também foi estimada pelo método de Linacre a partir da Equação (2) para a estação meteorológica de Petrolina como critério de controle dos valores de saída do modelo.

$$ETP = \frac{500 \frac{T_{med} + (0,006 H)}{100 - (L)} + 15 (T_{med} - T_0)}{(80 - T_{med})} \quad (2)$$

em que:

T_{med} : Temperatura média (°C),
 H : Altitude (m), para a localidade,
 L : Latitude (°S), para a localidade,
 T_0 : Temperatura de Orvalho (°C).

2.1 Análise estatística

Para se obter dados diários foi realizada a média dos dados horários da estação agrometeorológica de Bebedouro. Os dias que não possuíam dados foram descartados para que não afetassem os resultados.

Quando se relacionam, pela regressão, valores estimados com valores observados, podem-se obter informações da precisão e da exatidão, que, conjuntamente, indicam a consistência dos dados estimados com os observados. A precisão, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo coeficiente de determinação, indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos, o erro aleatório, não considerando o sistemático. Os coeficientes de determinação e de correlação foram obtidos por meio do EXCEL a partir da construção direta dos gráficos e das respectivas regressões. Para a avaliação do desempenho dos modelos utilizaram-se análises de regressão e foram obtidos os coeficientes de determinação (R^2), coeficientes de correlação (r), o erro médio percentual (EMP), o erro médio absoluto (EMA), a raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN). Os índices estatísticos são descritos e formulados a seguir:

a) A precisão, ou seja, o grau de dispersão dos valores em torno da média, dada pelo coeficiente de determinação (R^2), indica apenas o grau de dispersão dos dados obtidos, o erro aleatório, não considerando o sistemático. Obtido a partir da Equação (3) que representa as regressões lineares entre os valores observados e os estimados:

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right] \quad (3)$$

em que:

E_i - valor estimado

O_i - valor observado

\bar{O} - média dos valores observados

n - número de observações

b) Raiz quadrada do quadrado médio do erro normalizado (RQMDN) de acordo com a Equação (4):

$$RQMDN = \frac{\left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_i - O_i)^2 \right]^{0,5}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n O_i} \quad (4)$$

A RQMDN varia entre 0 a infinito sendo que, quanto menor, melhor a estimativa, entretanto, este índice não faz distinção quanto aos dados serem subestimados ou superestimados (Jacovides e Kontoyiannis, 1995).

c) O erro médio absoluto representa o módulo da diferença entre o valor observado e o valor estimado. Considerando que O_i representa o valor observado, E_i representa o valor estimado a partir dos modelos e n representa o número de valores, o EMA foi determinado pela Equação (5):

$$EMA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |O_i - E_i| \quad (5)$$

Similar ao RQMDN, quanto menor o valor do erro médio absoluto de EMA melhor a estimativa, porém valores positivos indicam a quantidade média de superestimativa dos modelos, e negativa, o contrário.

d) O erro médio percentual EMP(%) diz respeito ao percentual de viés dos valores simulados em relação aos observados. Quanto mais próximo de zero for o valor deste coeficiente melhor o modelo representará a realidade, ou seja, menor a tendência nas estimativas e, além disso, serve também como indicativo se o modelo é pobre em representatividade (Moriasiet al., 2007). LIEW et al.(2007)apresentaram a seguinte classificação: $|EMP| < 10\%$, muito bom; $10\% < |EMP| < 15\%$, bom; $15\% < |EMP| < 25\%$, satisfatório e $|EMP| > 25\%$, o modelo é inadequado.

O erro médio percentual foi obtido pela Equação (6):

$$EMP(\%) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - E_i}{E_i} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Para verificar se, realmente, os valores de ETP estimados pelos modelos diferiram significativamente entre os valores de ETP medidos, utilizou-se o teste-t derivado a partir do R^2 (Stone, 1993; Togrul eTogrul, 2002) segundo a Equação (7):

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (7)$$

em que:

n – número de observações

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A sensibilidade do modelo foi abordada em relação à distribuição das componentes que compõem a superfície (relevo, solos e cobertura do solo) como também as variáveis que condicionam o tempo e clima. A partir da análise de sensibilidade foi possível verificar que dentre os principais parâmetros selecionados, a estimativa da ETP com valores coerentes seria de grande importância tendo em vista a demanda natural do ambiente semiárido; tal força atua diretamente nos processos de REVAP como também na transferência de água para os

canais, fazendo retiradas substanciais do escoamento superficial (Runoff). Como já mencionado, neste estudo foi selecionado no modelo SWAT o método de estimativa da ETP proposto por Penman-Monteith, entretanto na indisponibilidade das variáveis de entrada na validação de tal componente foi também utilizado o método de Linacre.

Para análise do desempenho na estimativa da ETP foi tomado como modelo de referência o método de Linacre (ETP – Calculada) e o método simulado (ETP – SWAT), os resultados obtidos para os 2 métodos foram comparados utilizando critérios estatísticos, aplicados para o período de validação. O período de validação para as estações possuem séries históricas (jan-1993 a dez-2010). A Figura 2 exibe a relação entre as estimativas de ETP pelo modelo SWAT e o método de Linacre para localidade de Bebedouro descrevendo uma explicação da ordem de 83% da variabilidade dos dados de ETP foi possível verificar a tendência de subestimativa dos valores simulados em torno de 18%, o que representa em média cerca de 0,9 mm dia⁻¹, enquanto o RQMDN foi da ordem de 16,4%.

Tabela 1. Análise estatística dos modelos de evapotranspiração potencial (ETP).

ETP – Linacre (mm dia ⁻¹)	ETP – SWAT (mm dia ⁻¹)	EMA (mm dia ⁻¹)	EMP (%)	RQMDN (%)
6,2	5,3	0,9	18,1	16,4

Sabendo-se da importância da estimativa da ETP para avaliar os efeitos da mudança do uso da terra sobre o rendimento de água, avaliação ambiental, e desenvolvimento de melhores práticas de gestão para proteger a qualidade das águas sobre a superfície e subterrâneas (Irmaket al., 2005).

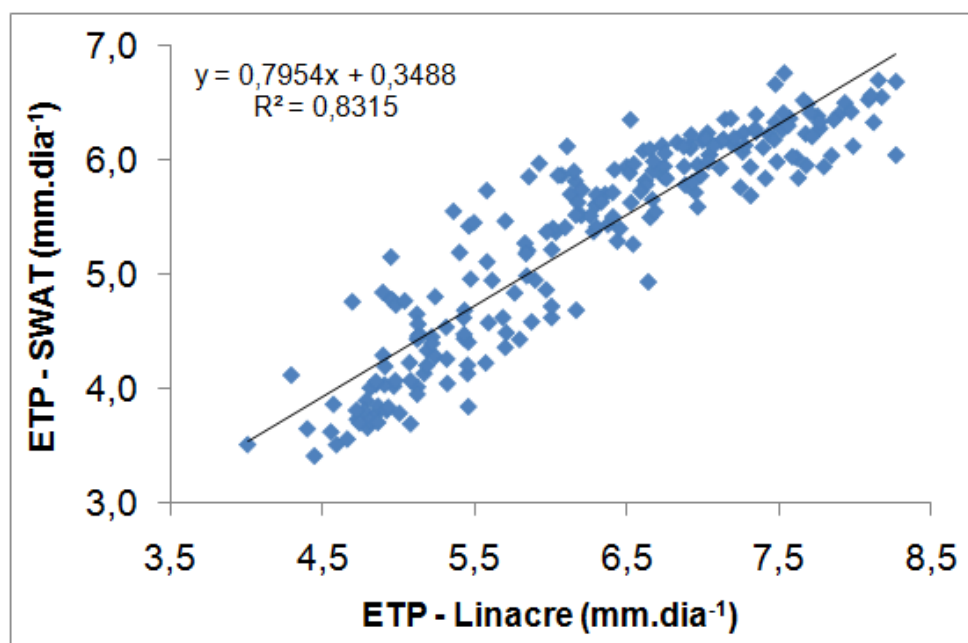


Figura 2. Relação entre as estimativas de ETP pelo modelo SWAT e o método de Linacre para o período (jan-1993 a dez-2010), para localidade de Bebedouro.

4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos foi verificado que as estimativas de ETP gerados a partir das simulações do SWAT representaram em torno de 83% a estimativas da ETP pelo método de Linacre, o qual utilizou apenas dados observados oriundos da estação de

Bebedouro(PE). Dessa forma considera-se que os valores possuem desempenho satisfatório. Pode-se concluir que o modelo de SWAT, através do método de Penman-Monteith, apresenta-se como alternativa adequada para fornecer dados estimativos de ETP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnold, J. G.; Allen, P. M. **Automated methods for estimating baseflow and ground water recharge from streamflow records**. J. American Water Resources Assoc. vol. 35, pp. 411–424, 1999.

Carvalho, L. G.; Rios, G. F. A.; Miranda, W. L.; NETO, P. C. **Evapotranspiração de referência: uma abordagem atual de diferentes métodos de estimativa**. Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 41, n. 3, p. 456-465, jul./set. 2011. e-ISSN 1983-4063.

Irmak, A. **Evapotranspiration** - Remote sensing and modeling. Published by InTech, DOI: 10.5772/725 , Croatia. Dec., 2011.

Jacovides C. P .; Kontoyiannis, H. **Statistical procedures for the evaluation of evapotranspiration computing models**. Agricultural Water Management, vol. 27, p. 365 -371, 1995.

Liew, M. W.; Veith, T. L.; Bosch, D. D.; Arnold, J. G. **Suitability of SWAT for the Conservation effects assessment project: A comparison on USDA-ARS watersheds**. Journal of Hydrological Research, v.12, p.173-189, 2007.

Moriassi, D. N .; Arnold, J. G .; Liew, M. W. van; Binger, R. L .; Harmel, R. D .; Veith, T. L. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations**. Transactionsofthe ASABE, v.50, p.885-900, 2007.

Sentelhas, P. C.; Angelocci, L. R. **Evapotranspiração – Definições e conceitos**. ESALQ/USP, 2009. Disponível em: <<http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula8.pdf>>, Acesso em 06 out 2014.

Silva, V. de P. R. da. On climate variability in Northeast of Brazil. Journal of Arid Environments, v.58, p.575-596, 2004.

Silva, V. P. R.; Filho, Adelgicio F. B.; Silva, B. B.; Campos, J. H. B. C. **Desenvolvimento de um sistema de estimativa da evapotranspiração de referência**. Rev. bras. eng. agríc. ambient. [online]. 2005, vol.9, n.4, pp. 547-553. ISSN 1807-1929.

Souza, C. B.; Silva, B. B.; Azevedo, P. V.; Silva, V. P. R. **Fluxos de energia e desenvolvimento da cultura do abacaxizeiro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.12, n.4, p.400–407, 2008.

Stone, R. J. **Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models**. Solar energy, v.51, p.289-291, 1993.

Togrul, T .; Togrul, H. **Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and Measured date**. Renewable Energy, v.25, p.55-67, 2002.

Wang, K., Dickinson, R.E. **A review of global terrestrial evapotranspiration: observa-tion, modeling, climatology, and climatic variability**. Rev. Geophys. 50, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1029/2011RG000373>>, acesso em 12 out 2014.