

# CALIBRAÇÃO DE UM MODELO DE BALANÇO HÍDRICO PARA UMA LOCALIDADE DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

MARCOS DAISUKE OYAMA<sup>1</sup>, CHRISTIAN COSTA SPANGER<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng. de Infra-Estrutura Aeronáutica, Pesq. Adjunto, Divisão de Ciências Atmosféricas, Instituto de Aeronáutica e Espaço,  
São José dos Campos - SP, Fone: (0 xx 12) 3947-4572, oyama@iae.cta.br.

<sup>2</sup> Aluno de graduação em Engenharia Mecânica-Aeronáutica, Divisão de Engenharia Mecânica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica,  
São José dos Campos - SP.

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia - 02 a 05 de julho de 2007 -  
Aracaju/SE

**RESUMO:** Calibrou-se um modelo de balanço hídrico (MBH) utilizando dados micrometeorológicos de jul/2003 a mar/2006 coletados no sítio experimental da Embrapa Semi-Árido (9°03'30,6"S; 40°19'45,1"W; 350 m) em Petrolina (PE). Médias mensais de precipitação, temperatura, umidade do solo, fluxo de calor latente, entre outros, foram utilizados. Em relação à calibração original, feita para garantir um bom desempenho do MBH em escala global, a calibração do presente trabalho levou a uma melhor representação da umidade do solo e de runoff, embora haja subestimativa em relação às observações. Tanto a calibração original quanto a do presente trabalho levaram a uma boa representação da evapotranspiração. Para trabalho futuro, sugere-se a validação do MBH.

**PALAVRAS-CHAVE:** evapotranspiração, Petrolina, ajuste.

## CALIBRATION OF A WATER BALANCE MODEL FOR A SITE IN NORTHEAST BRAZIL SEMI-ARID AREA

**ABSTRACT:** A water balance model (WBM) was calibrated against micrometeorological data from Jul/2003 to Mar/2006 collected at the Embrapa Semi-Árido experimental site (9°03'30,6"S; 40°19'45,1"W; 350 m) in Petrolina (State of Pernambuco, Brazil). Monthly mean data (precipitation, temperature, soil moisture, latent heat flux, etc.) were used. Compared to the original calibration, which was performed to ensure a good WBM skill on global level, the present work calibration led to a better representation of soil moisture and runoff, even though both variables have been underestimated compared to observations. Both original and present work calibrations led to a good representation of evapotranspiration. For future work, validation of the WBM is suggested.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, Petrolina, adjustment.

**INTRODUÇÃO:** A partir de totais mensais de precipitação e médias mensais de temperatura, modelos de balanço hídrico (MBH) calculam os termos do balanço de água do solo: evapotranspiração, variação do armazenamento de água no solo e runoff [aqui significando a soma entre escoamento superficial e drenagem profunda (excluindo a drenagem lateral)]. Apesar da simplicidade, as aplicações dos MBH são muitas: estimativa de deficiência hídrica para sistemas de irrigação, avaliação da disponibilidade de recursos hídricos, inicialização de água do solo em modelos atmosféricos, etc. Na literatura, há vários MBH (p.ex., WILLMOTT et al., 1985; MINTZ e SERAFINI, 1992; ROSSATO, 2001). O MBH de OYAMA e NOBRE (2004, ON04) foi elaborado a partir do de WILLMOTT et al. para ser utilizado na escolha de biomas potenciais. Os parâmetros do MBH de ON04 foram prescritos ou ajustados para obter resultados satisfatórios em nível global. Neste trabalho, o objetivo é calibrar o MBH de ON04

para uma localidade do semi-árido (Petrolina, PE), onde foi iniciada uma coleta de dados micrometeorológicos em jun/2003.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os dados provêm do sítio experimental da Embrapa Semi-Árido (CPATSA) (9°03'30,6"S; 40°19'45,1"W; 350 m) no município de Petrolina (PE). O sítio abrange uma área de 600 ha coberta por caatinga nativa. A precipitação (temperatura) média anual é em torno de 500 mm (26°C). O solo é classificado como Argissolo Amarelo, com baixa retenção de água e de pouca fertilidade. Em jun/2003, foi instalada uma torre para obtenção de medidas micrometeorológicas em alta e baixa frequência. A torre possui 9 m de altura e foi equipada com diversos sensores para obter dados de vento, umidade e temperatura do ar, chuva, pressão atmosférica, radiação de onda curta e longa, radiação fotossinteticamente ativa, saldo de radiação, temperatura e umidade do solo, fluxo de calor no solo, e fluxos turbulentos (calor sensível, calor latente, CO<sub>2</sub>) pelo sistema de covariância de vórtices turbulentos (eddy-correlation). Maiores detalhes sobre o sítio experimental e a coleta de dados podem ser encontrados em OLIVEIRA et al. (2007). Para o presente trabalho, obteve-se o conjunto de dados de jul/2003 a mar/2006 na resolução temporal de 30 min. Esses dados foram passados para a resolução diária e, então, para a mensal. Somente dias (meses) com mais de 1/3 dos horários (dias) com dados são considerados. Nenhuma correção foi aplicada aos dados, embora se tenha notado que não há fechamento no balanço hídrico em muitos meses. Quanto ao MBH, as equações:

$$\frac{dS}{dt} = P - E - R, \quad [1]$$

$$E = \frac{1}{L} \left[ \frac{\Delta}{\Delta + \bar{\gamma}} AE + \frac{\rho c_p}{r_a} \frac{e_{s,T}(1-H)}{\Delta + \bar{\gamma}} \right], \quad [2]$$

$$\Delta = \frac{de_{s,T}}{dT}, \quad \bar{\gamma} = \gamma \frac{r_a + r_c}{r_a}, \quad \gamma = \frac{\rho c_p}{L\varepsilon}, \quad r_c = \frac{r_{cmin}}{f_\delta f_w}, \quad f_\delta = 1 - C_1 e_{s,T}(1-H), \quad [3]$$

$$AE = AE(T), \quad [4]$$

$$f_w = f_w(W), \quad [5]$$

$$R = R(W), \quad [6]$$

$$W = S/S_{max}. \quad [7]$$

onde  $S$  é o armazenamento de água do solo;  $t$ , o tempo;  $P$ , a precipitação;  $E$ , a evapotranspiração;  $R$ , o runoff;  $L$ , o calor latente de vaporização ( $= 2,5 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$ );  $AE$ , a energia disponível (saldo de radiação menos fluxo de calor no solo);  $\rho$ , a densidade do ar ( $= 1,2 \text{ kg m}^{-3}$ );  $c_p$ , o calor específico do ar a pressão constante ( $= 1004 \text{ J K}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ );  $r_a$ , a resistência aerodinâmica;  $e_{s,T}$ , a pressão parcial de saturação do vapor à temperatura  $T$ ;  $H$ , a umidade relativa do ar;  $r_c$ , a resistência do dossel;  $p$ , a pressão;  $\varepsilon$ , constante igual a 0,622;  $r_{cmin}$ , a resistência do dossel mínima;  $f_\delta$  e  $f_w$ , fatores de estresse devido ao déficit de pressão parcial de vapor e à umidade do solo, respectivamente;  $C_1$ , constante igual a  $0,0275 \text{ hPa}^{-1}$ ;  $W$ , o grau de saturação do solo; e  $S_{max}$ , a quantidade de água disponível. Para o semi-árido nordestino, não se consideram a precipitação e o armazenamento de água em forma de neve, e o congelamento do solo. A Eq. 1 é o balanço hídrico mensal e é resolvida na escala diária, distribuindo a precipitação mensal uniformemente para todos os dias do mês e considerando a temperatura média diária igual à mensal. A Eq. 2 é a de Penman-Monteith. Em ON04, o valor dos parâmetros  $S_{max}$ ,  $p$ ,  $H$ ,  $r_a$ , e  $r_{cmin}$ , e as equações de  $AE$ ,  $f_w$  e  $R$  (Eqs. 4-6), foram prescritos ou ajustados para garantir um bom desempenho do modelo em nível global (Tabela 1). Dados de Reanálise do NCEP/NCAR (KALNAY et al., 1996) foram extensivamente utilizados em ON04.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Para calibração, os valores de  $p$  e  $H$  são a média das observações. Com os dados de saldo de radiação e fluxo de calor do solo, obtém-se  $AE$ . A relação entre  $AE$  e  $T$  é obtida por regressão linear. Considera-se solo de 50 cm com 10% de água disponível ( $S_{\max} = 50$  mm), o que é coerente com ANTONINO et al. (2000). Com as médias mensais de magnitude do vento, calcula-se  $r_a$  para condições neutras; o valor adotado corresponde à média dos valores mensais. Obtém-se o valor de  $r_{c\min}$  considerando  $r_{c\min} = r_{s\min} / LAI$ , onde  $r_{s\min}$  é a resistência estomática mínima ( $= 200 \text{ m s}^{-1}$ ; GÜNTNER, 2002, p.54), e  $LAI$ , o índice de área foliar. Como o  $LAI$  (green  $LAI$ ) médio para caatinga é em torno de 1 (DORMAN e SELLERS, 1989, p.843), considera-se  $r_{c\min} \cong r_{s\min}$ . O ajuste entre  $R$  (obtido como resíduo do balanço hídrico observado) e  $W$  é mostrado na Fig. 1a. O ajuste entre  $f_w$  (obtido da Eq. 2 com os dados de  $E$ ) e  $W$  é mostrado na Fig. 1b. O resultado da calibração está mostrado na Tabela 1. A comparação entre o MBH calibrado com os dados de Petrolina (MOD\_1) e o MBH com os parâmetros de ON04 (MOD\_0) está mostrada na Fig. 2 e Tabela 2. Ambos os modelos foram inicializados com grau de saturação do solo igual a 0,5. As integrações se estenderam desde jul/2003 a mar/2006. A comparação é feita a partir de jan/2005; considera-se o período de jul/2003 a dez/2004 como spin-up. Em geral, como esperado, MOD\_1 representa melhor as observações que MOD\_0. Para o grau de saturação do solo, de jan a jul/2005, fica evidente a exagerada subestimativa de MOD\_0 e uma ligeira subestimativa de MOD\_1; a partir de de set/2005, ambos os modelos não são capazes de representar o grande aumento de umidade do solo, embora MOD\_1 apresente uma subestimativa menor (Fig. 2a). A calibração reduz substancialmente a magnitude do viés (o viés de MOD\_1 é cerca de 50% o de MOD\_0), mas não muda o EQM (Tabela 2). Para a evapotranspiração, ambos os modelos têm comportamentos muito próximos (subestimativa em 2005 e superestimativa no início de 2006) (Fig. 2b). Tanto o viés quanto o EQM são semelhantes e pequenos para ambos os modelos (Tabela 2). Para o runoff, MOD\_0 obtém o valor nulo pois o grau de saturação é muito baixo; já MOD\_1 consegue representar melhor, particularmente na estação chuvosa de 2005 (Fig. 2c).

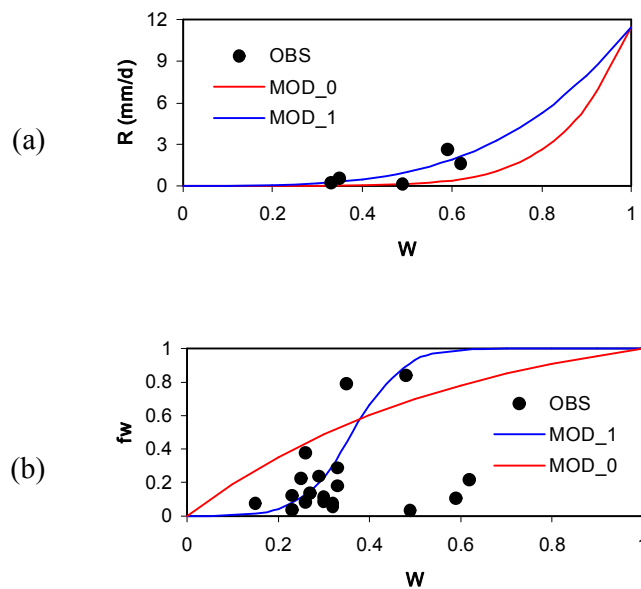


Figura 1 – Calibração de runoff (a) e  $f_w$  (b). Os pontos correspondem às observações (OBS); a linha vermelha se refere ao ajuste de ON04 (MOD\_0); a linha azul, ao ajuste do presente trabalho (MOD\_1).

Tabela 1 – Calibração de ON04 (MOD\_0) e do presente trabalho (MOD\_1).

	unidade	MOD_1	MOD_0
$S_{max}$	mm	50	500
$p$	hPa	970	970
$H$	-	0,59	0,69
$r_a$	$m s^{-1}$	60	100
$r_{cmin}$	$m s^{-1}$	200	100
$AE$	$W m^{-2}$	$6,99 \cdot T + 54,97$ ( $T$ em °C)	$2,89 \cdot T + 52,32$ ( $T$ em °C)
$R$	$mm d^{-1}$	$11,5 \cdot W^{6,6}$	$11,5 \cdot W^{3,5}$
$f_w$	-	$\frac{f_0}{f_0 + (1 - f_0) \exp(-\alpha W)}$ $f_0 = 10^{-3}; \alpha = 19$	$\frac{1 - \exp(-1,7 \cdot W)}{1 - \exp(-1,7)}$

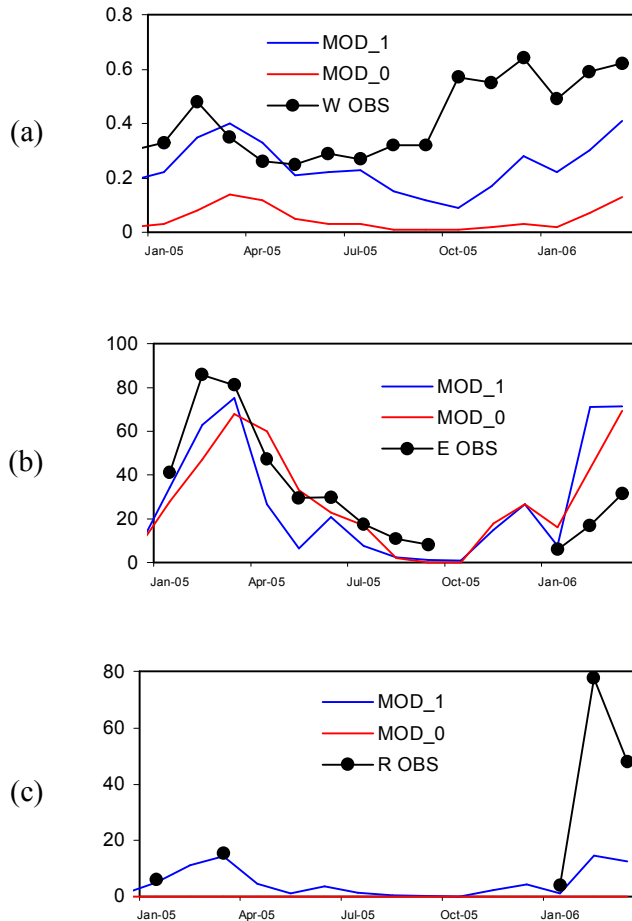


Figura 2 – Comparação de grau de saturação do solo (a), evapotranspiração (b) e runoff (c) entre modelos e observação. A linha com pontos pretos corresponde às observações (OBS); a linha vermelha se refere ao modelo com ajuste de ON04 (MOD\_0); a linha azul, ao modelo com ajuste do presente trabalho (MOD\_1).

Tabela 2 – Estatísticas de erro entre modelos (MOD\_0, ajuste de ON04; MOD\_1, ajuste do presente trabalho) e observação (de jan/2005 a mar/2006). O erro quadrático médio (EQM) é calculado retirando-se o viés.

	grau de saturação do solo		evapotranspiração (mm)	
	MOD_1	MOD_0	MOD_1	MOD_0
viés	-0,18	-0,37	-1,5	+0,1
EQM	0,15	0,15	23,0	19,2

**CONCLUSÕES:** O modelo de balanço hídrico de OYAMA e NOBRE (2004, ON04) foi calibrado para uma localidade do semi-árido nordestino: o sítio da Embrapa Semi-Árido (CPATSA) (9°03'30,6"S; 40°19'45,1"W; 350 m) no município de Petrolina (PE). Médias mensais de dados coletados no sítio (precipitação, temperatura, umidade do solo, fluxo de calor latente, etc.) foram utilizados. Em relação à calibração de ON04, a calibração do presente trabalho levou a uma melhor representação da umidade do solo e de runoff, embora haja subestimativa de ambas as variáveis em relação às observações. Tanto a calibração de ON04 quanto a do presente trabalho levaram a uma boa representação da evapotranspiração. Para trabalhos futuros, sugere-se uma validação com dados de 2007 e um refinamento da calibração por meio de otimização dos coeficientes das funções de runoff e do fator de estresse devido à umidade do solo (ambos são função do grau de saturação do solo).

**AGRADECIMENTOS:** Parte do presente trabalho foi realizado enquanto o segundo autor foi bolsista de iniciação científica do CNPq (PIBIC-IAE) sob orientação do primeiro autor. Agradecemos ao Dr. Antonio Ocimar Manzi e à Sra. Maria Betânia Leal de Oliveira, ambos do INPA, pela cessão dos dados utilizados neste trabalho.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ANTONINO, A. C. D. et al. Balanço Hídrico em Solo com Cultivos de Subsistência no Semi-Árido do Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.4, n.1, p.29-34, 2000.
- DORMAN, J. L.; SELLERS, P. J. A global climatology of albedo, roughness length and stomatal resistance for atmospheric general circulation models as represented by the Simple Biosphere model (SiB). **J. Appl. Meteor.**, v.28, n.9, p.833-855, 1989.
- GÜNTNER, A. **Large Scale Hydrological Modelling in the Semi-Arid North-East of Brazil**. PIK Report No. 77, 2002.
- KALNAY, E. et al. The NCEP/NCAR 40-year Reanalysis Project. **Bull Amer. Meteor. Soc.**, v.77, p.437-472, 1996.
- MINTZ, Y.; SERAFINI, Y. V. A global climatology of soil moisture and water balance. **Climate Dyn.**, v.8, n.1, p.13-27, 1992.
- OLIVEIRA, M. B. L. et al. Trocas de Energia e Fluxo de Carbono entre a Vegetação de Caatinga e Atmosfera no Nordeste Brasileira. **Rev. Bras. Meteor.**, 2007 (no prelo).
- OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A Simple Potential Vegetation Model for Coupling with the Simple Biosphere Model (SiB). **Rev. Bras. Meteor.**, v.19, n.2, p.203-216, 2004.
- ROSSATO, L. **Estimativa da umidade do solo no Brasil**. 2001. 139f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2001.
- WILLMOTT, C. J.; ROWE, C. M.; MINTZ, Y. Climatology of the terrestrial seasonal water cycle. **J. Climatol.**, v.5, n.6, p.589-606, 1985.