

# APLICAÇÃO DA ANÁLISE INVERSA PARA ESTIMAR PROPRIEDADES RADIATIVAS DA SUPERFÍCIE NA REGIÃO DO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO

Rômulo da Silveira PAZ<sup>1</sup>, Zaqueu Ernesto da Silva<sup>2</sup>, Maurício de Agostinho ANTONIO<sup>3</sup>, José Carlos FIGUEIREDO<sup>4</sup>

## INTRODUÇÃO

O balanço de energia à superfície da terra tem papel fundamental, pois condiciona a repartição da energia solar em calor latente de evaporação, calor sensível e calor condutivo no solo, fenômenos, estes, ligados diretamente à dinâmica da vegetação e constituindo as condições de contorno do processo de circulação atmosférica. Esse balanço de energia pode ser obtido experimentalmente ou através de modelos teóricos ou empíricos.

Os cálculos desses parâmetros climáticos têm uma necessidade em comum: o conhecimento das propriedades termodinâmicas, termofísicas e radiativas do solo vegetado e da atmosfera. A exatidão desses cálculos, do balanço de energia e de outros cálculos necessários às previsões climáticas depende da precisão da medição ou da estimação dessas propriedades.

Tasadduq et al (2002) faz uma breve revisão dos trabalhos concernentes aos procedimentos de cálculos de parâmetros climáticos porém no que diz respeito a métodos e estimação das propriedades verifica-se o uso de valores consagrados na literatura ou cálculo através de relações empíricas.

Esse trabalho introduz o uso do paradigma “métodos inversos” (Beck e Arnold, 1977) para estimar a emissividade de uma superfície vegetada, albedo ou fração da radiação solar refletida pela superfície e emissividade do ar corrigida através do uso do método de Levenberg-Marquardt. Dados experimentais para a radiação líquida foram obtidos em uma estação micrometeorológica localizada na região semi-árida do Cariri paraibano os quais foram comparados com a radiação líquida calculada a partir de medições da radiação global e da temperatura da superfície a uma altura de 10m do solo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O problema direto envolve o cálculo da troca líquida de radiação de ou para uma superfície vegetada. O balanço de radiação sobre uma superfície terrestre envolve forma de radiação ambiental com grandes comprimentos de onda que incluem a emissão da superfície, assim como a emissão de certos componentes da atmosfera e obviamente a radiação solar. O balanço de energia radiante em uma superfície tem portanto a forma:

$$Q_{liq} = G_s + G_{ar} - \rho G_s E_g \quad (1)$$

onde  $Q_{liq}$ , representa a troca líquida por radiação de ou/para a superfície;  $G_s$ , representa a irradiação

solar ( $W/m^2$ );  $G_{ar} = \varepsilon_{ar} \sigma T_{ar}^4$ , representa a irradiação terrestre devido à emissão atmosférica ( $W/m^2$ ); e  $E_g = \varepsilon_g \sigma T_g^4$ , representa o poder emissivo associado à superfície terrestre ( $W/m^2$ ).

Efetuada a substituição das expressões matemáticas de cada variável, a Eq. (01) a troca líquida da radiação de ou para a superfície pode ser calculada por:

$$Q_{liq} = (1 - \rho)G_s + \varepsilon_{ar} \sigma T_{ar}^4 - \varepsilon_g \sigma T_g^4 \quad (2)$$

onde  $\rho$  representa a refletividade do solo para a radiação solar, também referenciado como albedo;  $\varepsilon_{ar}$  e  $\varepsilon_g$ , representam, respectivamente, as emissividades do ar e do solo e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $W/m^2.K^4$ )

A emissividade do ar deve levar em conta a influência do teor de umidade do ar e da nebulosidade. Assim, a emissão atmosférica no sentido da superfície é dada pela fórmula de Brunt:

$$G_{ar} = \varepsilon_g \sigma f T_a^4 \quad (3)$$

$$f = \left\{ 1 - \left[ 0.49 - 0.066(e_a)^{1/2} \right] \right\} (1 - CA) \quad (3.1)$$

Os termos C e A, fornecidos por Kondo (1976), significam um fator de correção devido à presença de nuvens e são dados pelas expressões:

$$C = 0.75 - 0.005e_a \quad (3.2)$$

$$A = CL + 0.85CM + 0.5CH \quad (3.3)$$

sendo que  $e_a$ , representa a umidade da atmosfera;  $CL$ ,  $CM$  e  $CH$ , a quantidade de nuvens baixa, média e alta, respectivamente.

Assim, a emissividade do ar é dada pela seguinte equação:

$$\varepsilon_{ar} = \varepsilon_g \left\{ 1 - \left[ 0.49 - 0.066(e_a)^{1/2} \right] \right\} (1 - CA) \quad (4)$$

O método de Levenberg-Marquardt (Press et al, 1992) foi o escolhido para resolver o problema de identificação. Esse método, baseado no ajuste da função mérito  $S^2$ , é capaz de resolver modelos não lineares para um número variável de incógnitas. A função de mérito é dada pela expressão:

$$S^2(\beta, t) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{Q_{liq,med}^i(\beta, t) - Q_{liq,mod}^i(\beta, t)}{\sigma_i} \right]^2 \quad (5)$$

<sup>1</sup> Dr. Prof. DCA/UFCG. 58.109-970 Campina Grande, PB.

<sup>2</sup> Dr. Prof. Ad. Lab. de Energia Solar, UFPB, João Pessoa, PB

<sup>3</sup> Dr. Pesquisador, IPMet, UNESP, Bauru, SP.

<sup>4</sup> Msc. Meteorologista, Ipmet/UNESP, Bauru, SP.

onde  $\sigma_i$  representa o desvio-padrão do  $i$ -ésimo tempo.

O modelo teórico que permite calcular a radiação líquida ( $Q_{liq}$ ), inclui a temperatura do solo ( $T_g$ ), a temperatura do ar ( $T_{ar}$ ) (sensor a 10 metros da superfície), a irradiação solar ( $G_s$ ), a emissividade do solo ( $\epsilon_g$ ) e a emissividade do ar ( $\epsilon_{ar}$ ). As medidas foram efetuadas a cada 20 min para dois períodos distintos no ano de 2000 no Município de São João do Cariri-Pb, latitude 07°55'08"S, longitude 47°02'00"W e altitude de 786m, região de caatinga, caracterizada por vegetação do tipo Hiperxerófila.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de examinar com detalhe a influência dos vários parâmetros que intervêm no cálculo da troca líquida radiativa para ou da superfície vegetada deve-se efetuar um estudo de sensibilidade aos parâmetros. Esse estudo nos permite verificar a resposta do modelo matemático da troca líquida radiativa quando se efetua uma pequena mudança no valor do parâmetro. Para o nosso problema, pode-se verificar que a troca líquida radiativa, radiação líquida, tem a seguinte dependência funcional:

$$Q_{liq} = F(\rho_s, \epsilon_a, f, \sigma, T_g, T_{ar}, G_s, x, t) \quad (6)$$

Desses parâmetros, a Estação Micrometeorológica fornece as medidas da temperatura do ar ( $T_{ar}$ ), temperatura do solo ( $T_g$ ) e da irradiação solar total ( $G_s$ ). A constante de Stefan-Boltzmann é conhecida ( $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ ). Assim, a estimação da troca líquida radiativa, dada em termo das propriedades do ar e do solo, passa a ter a seguinte relação funcional:

$$Q_{liq} = F(\rho_s, \epsilon_g, f, x, t) \quad (7)$$

A função  $f$  é, portanto, calculada através do balanço da energia radiativa na superfície vegetada.

O coeficiente de sensibilidade representa a resposta do modelo matemático da troca líquida de radiação a uma variação finita no valor de parâmetro e é representado pela derivada parcial da função  $Q_{liq}$  em relação ao parâmetro aqui chamado genericamente  $\beta_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, k$ .

O coeficiente de sensibilidade da troca líquida radiativa  $Q_{liq}$  ao parâmetro  $\beta_i$  na posição  $x$ , no instante  $t$  é definida por:

$$\chi_i(\beta_i, x, t) = \frac{\partial Q_{liq}(\beta_i, x, t)}{\partial \beta_i} \quad (8)$$

$\beta_i$  é um vetor de  $n$  componentes,  $\beta_i$  indica quantitativamente a variação da troca líquida radiativa na posição  $x$  no instante  $t$  quando o parâmetro  $\beta_i$  varia de maneira finita.

O coeficiente de sensibilidade depende do valor de cada parâmetro. Para comparar os diferentes coeficientes de sensibilidade  $\chi_i$  é utilizado um coeficiente de sensibilidade adimensional definido como:

$$\chi_i^*(\beta_i, x, t) = \beta_i \chi_i(\beta_i, x, t) = \frac{\partial Q_{liq}(\beta_i, x, t)}{\left( \frac{\partial \beta_i}{\beta_i} \right)}$$

Assim temos unidades idênticas ao modelo. Portanto, coeficiente de sensibilidade representa a variação absoluta da troca líquida radiativa  $Q_{liq}$  provocada por uma variação relativa do parâmetro.

Analisando os resultados obtidos no problema inverso de radiação, observou-se que a equação do balanço radiativo ajustou-se de forma bastante satisfatória, depois de submetida ao processo de identificação de parâmetros. Foram estimados os parâmetros albedo,  $\rho$ , e a correção da emissividade do ar devida ao efeito da umidade e nebulosidade,  $f$ . Destaque-se que a escolha do parâmetro  $f$  para identificação decorreu da impossibilidade de efetuar a identificação simultânea da emissividade do ar e do solo em face da forte dependência linear apresentada entre esses dois parâmetros radiativos, resultado esse já esperado pelo seu sentido físico. Assim, a emissividade do ar é identificada indiretamente através do parâmetro  $f$ , sendo expressa em função da emissividade do solo igual a 0,95.

Depois do processo de identificação, com a utilização do procedimento de Levenberg-Marquardt, os parâmetros foram identificados com os seguintes valores:  $0,262 \pm 1,13 \cdot 10^{-4}$  para o albedo,  $\rho$ , e  $0,987 \pm 1,25 \cdot 10^{-4}$  para o parâmetro  $f$  na estação úmida. Na estação seca os parâmetros foram identificados com os seguintes valores;  $0,307 \pm 2,24 \cdot 10^{-4}$  para o albedo,  $\rho$ , e  $1,000 \pm 2,29 \cdot 10^{-4}$  para o parâmetro  $f$ . O grau de dispersão dos dados diminui quando comparado aos valores obtidos pelo método anterior, apresentando um erro relativo médio de 5,5% para estação úmida e 5,8% para estação seca.

Os valores dos parâmetros apresentados como característicos das estações úmida e seca, revelam-se coerentemente determinados. Fisicamente, justifica-se um aumento no valor do albedo em decorrência da diminuição da cobertura vegetal, da mesma forma que se justifica os valores mais aproximados da emissividade do ar e do solo na estação seca.

## CONCLUSÕES

Os resultados assinalam que a aplicação do método de LEVENBERG-MARQUARDT (Press et al., 1992) para otimização da parametrização da camada limite utilizada pelo MAL nesta fase preliminar revelou-se eficiente, possibilitando a recuperação dos valores de albedo e emissividade do ar. Além do mais, o valor da emissividade do ar ( $\epsilon_{ar} \cdot f$ ), assim estimado, já inclui os efeitos da nebulosidade sobre a emissividade da atmosfera e dispensa o uso das equações empíricas de uso corrente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BECK, J. V. and ARNOLD, K. J. Parameter estimation in engineering and sciences. John Wiley and Sons, New York, 1977.
- NJAU, E.C. A new analytical model for temperature prediction. Renewable Energy 1997, v11, p.61-8.
- PRESS, W. H., TEUKOSKLY, S.A., VETTERLING, W. T., E FLANNERY, P. B., Numerical Recipes in Fortran - The Art of Scientific Computing - Second Edition, New York : Cambridge University Press.
- SABBAGH J. A., SAYIGH, A.A.M., EL SSLAM, E.M.A. Estimation of the total solar radiation from meteorological data. Solar Energy 1977, v19, p.307-11.
- TASADDUQ, I., REMAN, S., BUBSHALT, K. Application of neural networks for the prediction of hourly mean

surface temperatures in Saudi Arabia.  
Renewable Energy 2002, p. 545-54

---