

# MODELAGEM DOS COMPONENTES DOS BALANÇOS DE RADIAÇÃO E ENERGIA EM DIFERENTES AGROS-SISTEMAS

ANTÔNIO H. de C. TEIXEIRA<sup>1</sup>, WIM G. M. BASTIAANSSEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Eng. Agrônomo, Pesquisador. Depto. de Agrometeorologia, Embrapa Semi-Árido, Petrolina-PE,  
Fone (0xx87)38621711, heribert@cpatsa.embrapa.br

<sup>2</sup>Engo Agrícola, Ph.D., WaterWatch, Wageningen, Holanda

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**RESUMO:** Aplicações de vários modelos hidrológicos em bacias hidrográficas requerem a quantificação dos parâmetros dos balanços de radiação e energia que descrevem a heterogeneidade dos agros-sistemas existentes. Medições contínuas de 2002 a 2005 dos componentes destes balanços foram realizadas em culturas irrigadas e em vegetação natural na região semiárida da Bacia do Rio São Francisco, Brasil. Em videiras a partição do saldo de radiação em fluxos de calor sensível e latente foi realizada pelo método da razão de Bowen, enquanto que para mangueira e caatinga isso foi feito através de sistemas das correlações turbulentas. Modelagens dos parâmetros de radiação de ondas curtas e longas foram realizadas visando o subsídio à extrapolação de processos hídricos na escala de bacias hidrográficas.

**PALAVRAS CHAVES:** evapotranspiração, recursos hídricos, fração evaporativa.

## MODELLING OF THE RADIATION AND ENERGY BALANCES COMPONENTS IN DIFFERENT AGRO-SYSTEMS

**ABSTRACT:** Several applications of large scale hydrological models for river basins require parameterizations of the radiation and energy balance components that describe the heterogeneity of the agro-ecosystems. Continuous measurements from 2002 to 2005 of the components of the surface radiation and energy balances were carried out on irrigated crops, as well as on natural vegetation in the semiarid region of São Francisco River basin, Brazil. In vineyards the partition of net radiation into latent and sensible heat fluxes was realized by using the Bowen ratio method while for mango orchard and caatinga the eddy covariance techniques were applied. Parameterizations on short and long wave radiations were performed for up scaling hydrological processes in river basins.

**KEYWORDS:** evapotranspiration, water resources, evaporative fraction

**INTRODUÇÃO:** A política da água deve ser baseada em estratégias que garantam os aspectos hídrico e ambiental de maneira integrada, requerendo para isso um conhecimento apropriado dos processos físicos dos diferentes agros-sistemas das bacias hidrográficas. Dados agrometeorológicos são essenciais para a avaliação destes processos que através dos balanços de radiação e energia, os quais controlam a evapotranspiração (ET). Métodos com medições pontuais da ET falham na descrição deste parâmetro em escala regional. Esta limitação tem motivado o desenvolvimento

de algoritmos baseados em dados agrometeorológicos e de sensoriamento remoto. Estes algoritmos geralmente usam modelos baseados nos componentes dos balanços de radiação e energia entre a superfície e a baixa atmosfera (Bastiaanssen et al., 2008, Teixeira et al., 2009a). Portanto, antes da aplicação de imagens de satélites em uma dada bacia hidrográfica, é importante o desenvolvimento de modelos simplificados e calibrados localmente relacionados com a troca energética das diferentes superfícies com a atmosfera. Os objetivos deste trabalho na região semiárida da Bacia do Rio São Francisco foram analisar os balanços de radiação e energia em culturas irrigadas e vegetação natural; a modelagem dos componentes destes balanços; e investigar a extrapolação dos valores instantâneos da partição da energia disponível para valores diários.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Todos os componentes do balanço de radiação e energia foram medidos ou estimados nas culturas da videira para vinho, cv. Petite Syrah (Lat 09°02'S; Long. 40°11'O) conduzida em sistema de espaldeira e irrigada por gotejamento; da videira para mesa, cv. Superior (Lat 09°18'S; Long. 40°22'W), conduzida no sistema de latada e irrigada por micro aspersão; da mangueira, cv. Tommy Atkins (Lat 09°22'S, Long. 40°34'W) irrigada por micro aspersão; e na caatinga (09°03'S, 40°19'W), em condições naturais. Os fluxos de calor latente ( $\lambda E$ ) nas videiras foram obtidos pelo método da razão de Bowen (Teixeira et al., 2007), enquanto que na mangueira e na caatinga, as técnicas das correlações turbulentas foram aplicadas (Stull, 1988). Adicionalmente a  $\lambda E$ , medições complementares do saldo de radiação ( $R_n$ ) e do fluxo de calor no solo ( $G$ ) foram realizadas. Com relação ao balanço de radiação, a radiação de ondas longas recebida da atmosfera ( $R_{L\downarrow}$ ) pode ser computada pela equação de Stephan Boltzman para todos os casos com medições diretas da temperatura do ar ( $T_a$ ), quando a emissividade aparente da atmosfera ( $\epsilon_a$ ) é conhecida. Várias soluções empíricas existem para a obtenção de  $\epsilon_a$ . A equação de Bastiaanssen (1995) e depois usada por Allen et al., (2007a) foi testada:

$$\epsilon_a = a(-\ln \tau_{sw})^b \quad (1)$$

onde  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica para comprimento de ondas curtas e  $a$  e  $b$  são coeficientes de regressão.

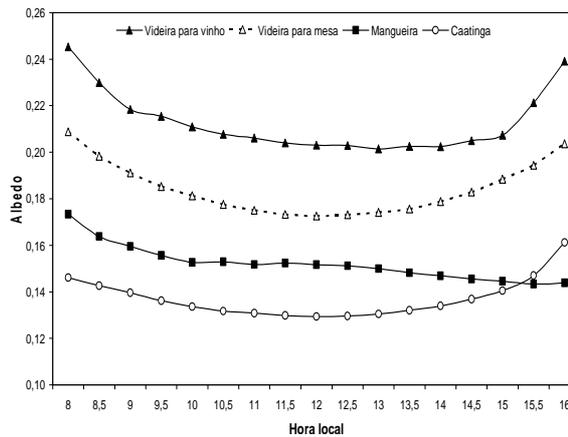
Os valores do albedo da superfície ( $\alpha_0$ ) foram obtidos por medições da radiação solar global incidente ( $R_G$ ) e da radiação solar global refletida ( $R_R$ ).  $R_n$  pode ser obtidos através do saldo radiação de ondas curtas, com um termo de correção para a radiação de ondas longas (De Bruin, 1987; de Bruin e Stricker, 2000):

$$R_n = (1 - \alpha_0)R_G - c\tau_{sw} \quad (2)$$

onde  $c$  é um coeficiente de regressão da relação entre a radiação de ondas longas líquida e  $\tau_{sw}$  é a transmissividade atmosférica.

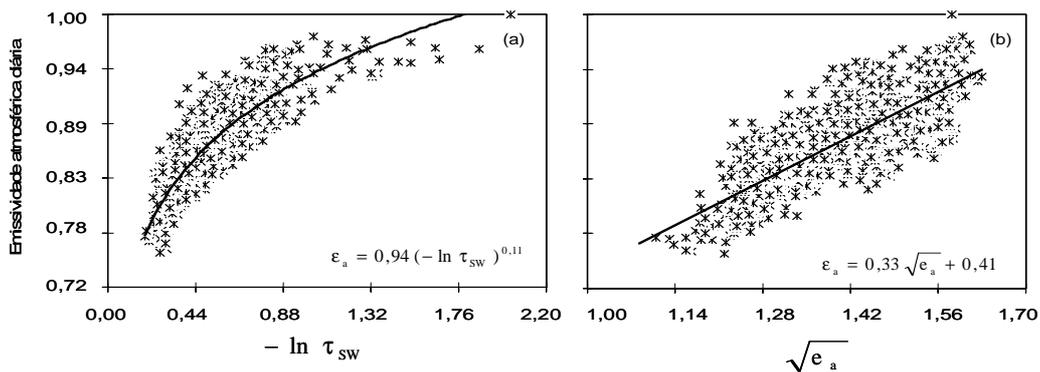
**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A percentagem de  $R_G$  transformada em  $R_n$  é em grande parte afetada por  $\alpha_0$ . O comportamento diurno deste último parâmetro para os diferentes tipos de vegetação estudados é mostrado na Figura 1. Os valores mínimos em geral ocorrem em torno do meio dia. A mangueira foi uma exceção, apresentando valores máximos pela manhã devido ao sombreamento das árvores altas. Em média,  $R_R$  representou 22% de  $R_G$  em videira para vinho, 19% em videira para mesa, 16% em mangueira e 14% em caatinga. Os mais altos valores em videira para vinho são

devidos ao sistema de condução vertical com exposição do solo claro à radiação solar incidente.



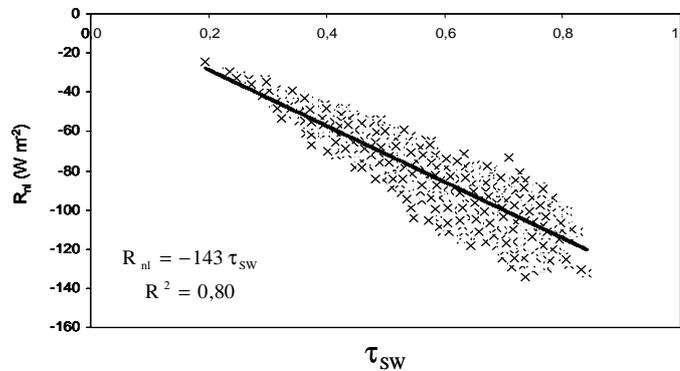
**Figura 1.** Médias diurnas do albedo para culturas irrigadas (videira para vinho, videira para mesa, mangueira) e para vegetação natural (Caatinga).

A  $\epsilon_a$  foi relacionada com  $\tau_{SW}$  (Equação 1) bem como com a pressão atual do vapor ( $e_a$ ) seguindo Allen et al. (1998) (Figuras 2a e 2b), apresentando uma melhor relação com  $\tau_{SW}$  ( $R^2 = 0,75$ ) do que para  $e_a$  ( $R^2 = 0,64$ ).



**Figura 2.** Relações entre a emissividade da atmosfera ( $\epsilon_a$ ) com a transmissividade atmosférica ( $\tau_{SW}$ ) (a) e com a pressão atual do vapor ( $e_a$ ) para períodos diários.

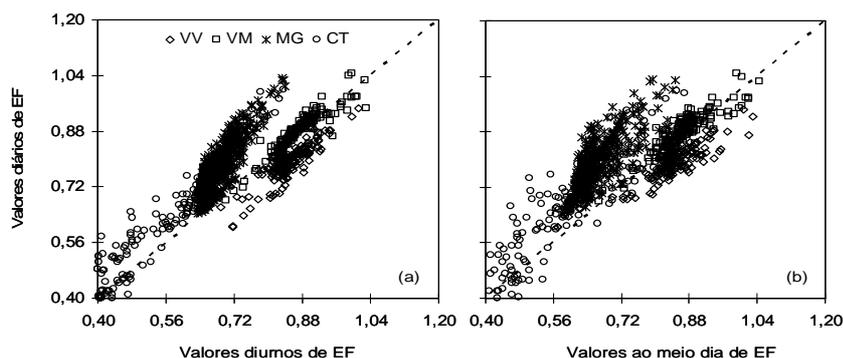
A Equação 2 foi testada porque ela permite a extrapolação dos valores instantâneos a diários de  $R_n$  em função de  $\tau_{SW}$  para a mesma escala de tempo (Figura 3).



**Figura 3.** Relações entre o saldo de radiação de ondas longas ( $R_{nl}$ ) e a transmissividade atmosférica ( $\tau_{SW}$ ) em escala diária envolvendo culturas irrigadas e vegetação natural.

Em superfície de grama na Holanda, de Bruin e Stricker (2000) usaram o coeficiente  $c = 135$ , enquanto que o valor original era de 110 (Bastiaanssen, 1995). O maior coeficiente  $c = 143$  para regiões semiáridas pode ser atribuído a temperaturas mais elevadas.

Um problema clássico na modelagem do balanço de energia é a conversão dos valores instantâneos deste balanço para valores diários. O procedimento mais comum é o cômputo do valor instantâneo da fração evaporativa [ $EF = \lambda E / (R_n - G)$ ], e conseqüente aplicação para obtenção do valor diário (Bastiaanssen, 1995; Su, 2002; Wang et al., 2007). Os valores diários de EF foram comparados com os valores diurnos e para meio dia (Figura 4).



**Figura 4.** Relações entre os valores diários da fração evaporativa (EF) com os diurnos (a) e ao meio dia (b) em videira para vinho (VV), em videira para mesa (VM), em mangueira (MG) e na catinga (CT).

A dispersão da Figura 4b é maior que para a Figura 4a, por que a última figura representa um valor integrado de tempo influenciando mais os valores diários. Para mangueira e caatinga os valores diários de EF são maiores que os valores diurnos. Enquanto que para estes dois últimos tipos de vegetação há necessidade de uma correção para a obtenção dos valores diários em função dos valores ao meio dia, para as videiras esta não é necessária. O fato de que a constância dos valores de EF varia com o tipo de vegetação é uma importante consideração para modelagens do balanço de energia em diferentes escalas de tempo.

**CONCLUSÕES:** Visando a modelagem de parâmetros hídricos em escala regional na região semiárida brasileira, relações empíricas dos componentes dos balanços de radiação e energia foram avaliadas. Estas análises permitem um melhor entendimento dos fluxos de energia que afetam os processos de troca entre as superfícies e a atmosfera, o que é importante na avaliação dos impactos causados pela mudança do uso da terra. Pelas medições dos componentes do balanço de radiação pôde-se concluir que a estimativa da emissividade da atmosfera baseada na transmissividade é mais precisa do que quando feita baseada na pressão atual do vapor como preconizado pelo boletim da FAO 56. Esta estimativa é fundamental para a obtenção do saldo de radiação instantâneo. Foi também demonstrado que os componentes do balanço de energia para períodos diários podem ser estimados de medições instantâneas destes componentes, uma vez conhecidos o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo em períodos de tempo integrados. Os balanços de energia em mangueira e caatinga evidenciaram que uma correção deve ser aplicada para extrapolação dos valores instantâneos para diários da fração evaporativa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, Italy, 300 pp, 1998.

ALLEN, R.G., TASUMI, M., TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineer ASCE**, v. 133, p. 380-394, 2007.

BASTIAANSEN, W.G.M. Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies in Mediterranean climates. Ph.D. dissertation, CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, The Netherlands. 273 p., 1995.

BASTIAANSEN, W.G.M., PELGRUM, H., SOPPE, R.W.O., ALLEN, R.G. , THORESON, B.P. , TEIXEIRA, A.H. DE C. Thermal infrared technology for local and regional scale irrigation analysis in horticultural systems. ISHS Acta Horticulturae 792, Proc. V<sup>th</sup> IS on Irrigation of Horticultural Crops, 2008.

BRUIN DE, H. A. R. From Penman to Makkink. In: Hooghart, J. C. (Ed.), Proceedings and information: TNO Committee on Hydrological, v. 39, p. 5-31. Gravenhage, The Netherlands, 1987.

BRUIN DE, H.A.R., STRICKER, J.N.M., 2000. Evaporation of grass under non-restricted soil moisture conditions. **Hydrological Sciences - Journal- des Sciences Hydrologiques**, v. 45, n. 3, p. 391-406.

STULL, R.B. An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Ed. Kluwer Academic Publishers, Boston, 1988.

SU, Z. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 6, p. 85-99, 2002.

TEIXEIRA, A.H. DE C., W.G.M. BASTIAANSEN, L.H. BASSOI. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in Sao Francisco River basin, Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 94, p. 31-42, 2007.

TEIXEIRA, A.H. DE C., W.G.M., BASTIAANSEN, AHMAD, M-UD-D, BOS, M. G. Reviewing SEBAL input parameters for assessing evapotranspiration and water productivity for the Low-Middle São Francisco River basin, Brazil Part A: Calibration and validation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 149, p. 462-476, 2009.

WANG, K., LI, Z., CRIBB, M. Estimation of evaporative fraction from a combination of day and night land surface temperatures and NDVI: A new method to determine the Priestly-Taylor parameter. **Remote Sensing Environment**, v. 102, p. 293-305, 2007.