

# **O modelo de evapotranspiração do RAMS. Parte II: modelo de vegetação, aspectos teóricos e aplicações**

Raffi Agop Sismanoglu - Bols. Rhae MCT- SIMERJ, José Eduardo Prates - SIMEPAR  
Chou Sin Chan - INPE

## **ABSTRACT**

A theoretical base study of RAMS was accomplished, kindred of to understand and to analyze of the vegetation model and the beginnings of the estimates of the evapotranspiration rate elaborated by. Starting from the understanding of the theoretical processes, and by analyzes of some simulations results, we understood that the model uses complex outlines of parameterization of the processes hidrological and thermal of the soil and of the vegetation for the estimates of ET, from the determination of the flows of heat changed in the interface soil-vegetation. Satisfactorily, the model showed to be potentially a tool useful in agricultural applications, mainly in the Regional Centers of Meteorology of the Country.

## **RESUMO**

Foi realizado um estudo de base teórico do RAMS, afim de se compreender e analisar o modelo de vegetação e os princípios das estimativas da taxa de evapotranspiração (ET) nele elaboradas. Posteriormente foram realizadas algumas simulações pontuais da ET para a floresta e soja. A partir da compreensão dos processos teóricos e da análise dos resultados, entendeu-se que o modelo utiliza esquemas complexos de parametrização dos processos hídricos e térmicos do solo e da vegetação para as estimativas da ET, a partir da determinação dos fluxos de calor trocados na interface solo-vegetação de acordo coma ordem 2,5 de fechamento de Mellor-Yamada. O modelo mostra ser uma ferramenta potencialmente útil em aplicações agrícolas, principalmente nos Centros Regionais de Meteorologia do País.

## **I- INTRODUÇÃO**

### **I-I - Modelo Regional de Mesoescala, RAMS**

O RAMS é um código numérico altamente versátil desenvolvido por cientistas do Colorado State University e pela divisão ASTER - Mission Research Corporation (WALKO e TREMBACK, 1993), para simular e prognosticar fenômenos meteorológicos. Seus principais componentes são: (1) um modelo atmosférico que realiza as simulações; (2) um pacote de análise de dados que prepara os dados iniciais para o modelo atmosférico a partir de dados meteorológicos observados; e (3) um pacote de pós-processamento.

### **I-II - Materiais e Métodos : o modelo de interação vegetação-atmosfera**

Mecanismos físicos como transportes verticais de “momentum”, e calor latente e sensível da superfície para a atmosfera são drasticamente modificados na presença da vegetação. Segundo REGNIER (1993), a cobertura vegetal é um filtro ativo das trocas entre dois reservatórios: o solo e a atmosfera. A ação desse filtro dependerá do estado dos dois reservatórios e do tempo. Em especial, no processo de transferência de água do solo para a atmosfera, a vegetação desempenha papel importante em vários aspectos:

- i) exerce controle na taxa de transferência por meio da evapotranspiração;
- ii) aumenta o volume de solo explorado para extração de água pelo sistema radicular;

- iii) armazena uma fração da precipitação (função da arquitetura da planta e intensidade da chuva), e sendo esta condensada diretamente na superfície das folhas, e em seguida evaporada;
- iv) contribui para o armazenamento de água no solo, na medida em que favorece a infiltração;
- v) contribui na transferência de calor sensível e latente para o ambiente; e
- vi) contribui na transferência radiativa, absorvendo a radiação fotossinteticamente ativa, absorve e emite a radiação difusa e reflete, absorve e transmite a radiação solar.

Para fins de modelagem, pode-se considerar como relevantes nos processos de interação da superfície com a atmosfera as seguintes características da vegetação:

i) *Parâmetros Fisiológicos:*

- resistência estomatal ao fluxo de vapor como função da incidência de luz solar, temperatura e potencial hídrico; e
- resistência ao fluxo de água líquida do sistema vascular da planta incluindo o sistema radicular.

ii) *Parâmetros Morfológicos:*

- índice de área foliar; e
- arquitetura da planta.

iii) *Parâmetros Físicos:*

- propriedade de refletância das folhas em diferentes comprimentos de onda;
- transmissividade das folhas;
- coeficiente de arrasto do dossel;
- parâmetro de rugosidade, é uma característica da superfície (solo ou vegetação) que afeta direta e indiretamente as trocas turbulentas de calor latente e sensível; e
- capacidade térmica do dossel.

Alguns desses parâmetros são naturalmente de difícil obtenção, inviabilizando, às vezes, a sua utilização de forma explícita nas equações.

No RAMS, o modelo de vegetação implementado por TREMBACK (1990) e que foi desenvolvido com base nas propostas de AVISSAR e MAHRER (1985), com modificações extraídas do *Biosphere Atmosphere Transfer Scheme* (BATS) (DICKINSON et al., 1980), possui duas etapas bem distintas. Na primeira, utiliza as equações do balanço hídrico e de energia e os valores dos fluxos de calor sensível e latente do espaço de tempo anterior para atualizar a temperatura da vegetação e os perfis da temperatura e umidade do solo nu e encoberto. Numa segunda, calcula-se os fluxos de calor sensível e latente a partir dos valores atualizados da temperatura e umidade do solo e da vegetação.

No RAMS, nas áreas do domínio onde existe cobertura vegetal são efetuados três tipos de balanço de radiação, em função das diferentes propriedades radiativas das superfícies:

i) *fração não sombreada:*

Na malha, a fração de solo sombreado ( $\mu$ ) é definida como uma característica do tipo de vegetação e o solo nu é dado por  $(1 - \mu)$ . Para este, a equação do balanço de radiação é expressa por:

$$Rn_{sv} = (1 - \alpha_m)R_S + \epsilon_S (R_l - \epsilon_S \sigma T_S^4) \quad \text{eq.17}$$

em que  $Rn_{sv}$  é o saldo de radiação sobre o solo sem vegetação,  $R_S$  e  $R_l$  são a radiação incidente de ondas curtas e longas, respectivamente,  $T_S$  e  $\epsilon_S$  a temperatura e a emissividade do solo (depende do comprimento de onda e varia de acordo com as características da superfície), respectivamente, e  $\alpha_m$  representa o albedo médio entre o solo nu e o sombreado:

$$\alpha_m = (1 - \mu)\alpha_n + \mu\alpha_v \quad \text{eq.18}$$

em que  $\alpha_v$  é o albedo da vegetação e  $\alpha_n$  o albedo do solo nu dependente da umidade do solo, sendo definido como:

$$\alpha_n = 0,31 - 0,17\Delta, \text{ se } \Delta \leq 0,5 \quad \text{e}$$

$$\alpha_n = 0,14, \text{ se } \Delta > 0,5,$$

em que  $\Delta = \left( \frac{\eta}{\eta_S} \right)$  é a umidade relativa (fracional) do solo.

O albedo depende do ângulo zenital do sol, da distribuição espectral da radiação solar incidente na superfície, e se tal radiação é direta ou difusa, das características da superfície (vegetação, solo, água, deserto, neve) e da umidade disponível.

ii) *Solo sombreado:*

O saldo de radiação sobre um solo sombreado é dado por:

$$Rn_{SS} = t_v(1 - \alpha_m)R_s + \varepsilon_s[(1 - \varepsilon_v)R_1 + \varepsilon_v\sigma T_v^4] - \varepsilon_s\sigma T_{SS}^4 \quad \text{eq.19}$$

em que  $t_v = 2^{-IAF}$  representa a parametrização da extinção da radiação de ondas curtas através do dossel, em função do índice de área foliar (IAF) definido como a razão entre a área total das folhas de uma planta e a área projetada no solo (adimensional),  $T_{SS}$  é a temperatura do solo sombreado (em K),  $\varepsilon_v$  é a emissividade da vegetação, e  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzman.

Os balanços radioativos ( $Rn_{SS}$  e  $Rn_{SV}$ ) são utilizados para calcular os dois fluxos de calor no interior da camada do solo nu e do sombreado. Esses dois fluxos servirão, inclusive, de condições de fronteira às equações prognósticas da temperatura do solo nu e do sombreado.

iii) *Sobre a vegetação:*

O saldo de radiação sobre a região coberta por vegetação é dado por:

$$Rn_v = (1 - \alpha_v - t_v)R_s + \varepsilon_v(R_1 + \varepsilon_s\sigma T_{SS}^4) - 2\varepsilon_v\sigma T_v^4 \quad \text{eq.20}$$

Cada balanço é realizado como se a malha de grade fosse homogênea, e o resultado final é ponderado pelas respectivas frações ocupadas de cada tipo de cobertura. Como no caso da temperatura do solo, o saldo de radiação,  $Rn_v$ , é utilizado na equação prognóstica da temperatura do dossel e é obtida pela expressão:

$$C_v \frac{\partial T_v}{\partial t} = LEt_r + H_v + Rn_v \quad \text{eq.21}$$

em que  $H_v$  é o fluxo de calor sensível da vegetação,  $L$  o calor latente de vaporização,  $Et_r$  a evapotranspiração e  $C_v$  a capacidade térmica do dossel vegetativo, definido como:

$$C_v = kc_w \rho_w IAF \quad \text{eq.22}$$

em que  $k$  é uma constante de proporcionalidade determinada empiricamente e  $c_w$  e  $\rho_w$  são, respectivamente, a capacidade calorífica e a densidade volumétrica da água. Com a temperatura da vegetação,  $T_v$ , calcula-se a umidade específica do ar na interface vegetação-atmosfera:

$$q_{av} = d_s q_s(T_v) + (1 - d_s)q_r \quad \text{eq.23}$$

em que  $q_s(T_v)$  é a umidade específica de saturação na superfície da folha a uma temperatura  $T_v$  da vegetação,  $q_r$  a umidade específica no nível de referência do modelo e  $d_s$  o fator que representa a condutância estomatal, definido como:

$$d_s = \frac{(d_s^m + (d_s^M - d_s^m)f_{RS}f_{Tv}f_c f_\psi f_D)}{d_s^M} \quad \text{eq.24}$$

em que  $d_S^m$  e  $d_S^M$  são a condutância estomatal mínima (estômato totalmente fechado, transpiração exclusivamente através da cutícula) e máxima (estômato totalmente aberto), respectivamente. São valores determinados experimentalmente e dependentes da espécie vegetal. Os termos  $f_x$  são funções que quantificam a influência de fatores do ambiente relacionados com o mecanismo de fechamento e abertura do estômato, em que  $D$  é o déficit hídrico entre o interior da câmara estomática e o ar,  $\Psi$  é o potencial hídrico médio do solo e  $C$  a concentração do dióxido de carbono. A expressão geral tem a forma:

$$f_x = (1 + \exp(-c(x - b)))^{-1} \quad \text{eq.25}$$

Por exemplo, no caso de  $f_{RS}$ , que representa a atenuação da radiação solar global (ondas curtas) por meio do dossel, para o IAF maior que 1, tem-se:

$$f_{RS} = \frac{1}{IAF} \sum_1^{IAF} \left[ 1 + \exp \left[ c \left( \frac{R_S}{2IAF} - b \right) \right] \right]^{-1} \quad \text{eq.26}$$

As constantes  $c$  e  $b$  são obtidas experimentalmente. Nas condições desenvolvidas neste trabalho foram utilizados valores encontrados em AVISSAR e MAHRER (1985) para a planta do fumo. Os balanços de radiação estão na unidade em  $Wm^{-2}$ .

### I- III Fluxos na camada limite superficial

De acordo com o trabalho de PRATES (1994), o cálculo dos fluxos de calor latente ( $E$ ) e sensível ( $H$ ) e “momentum” ( $M$ ), no nível de referência para o interior da camada de fluxo constante, baseia-se na parametrização proposta por BUSINGER et al. (1971) e nas modificações realizadas por LOUIS (1979).

### I-IV Fluxo de calor latente

O fluxo de calor latente é definido por:  $E = \rho_a L(u^* q^*)$

$$\text{com } u^* q^* = \frac{C_E}{R} \Phi_E (R_i) |u_r| \Delta q \quad \text{e} \quad \Delta q = q_r - q_v \quad \text{eq.28}$$

em que  $q^*$  é a escala de umidade específica, expressa por:  $q^* = -\frac{w'q'}{u^*}$  em que

$$w'q' = -\left[ f_w (u^* q^*)_w + f_g (u^* q^*)_g + f_{veg} (u^* q^*)_{veg} + f_s (u^* q^*)_s \right]$$

e os índices  $w$ ,  $g$ ,  $veg$ ,  $s$  e os termos  $L$  e  $\rho_a$  têm o mesmo significado conforme mencionado anteriormente.

## II - Aplicações do Modelo de ET e Conclusões

A seguir serão apresentados alguns resultados das estimativas da ET sobre a floresta e soja, realizadas de acordo com SISMANOGLU (1997), onde poderão ser encontradas outras informações relativas à configuração do RAMS.

As Figuras 1 e 2 mostram a variação temporal da taxa de evapotranspiração da floresta e da soja. Os prognósticos são das 12 UTC do dia 15.01.96 às 12 UTC do dia 17.01.96. A floresta apresentou a maior taxa de evapotranspiração, totalizando 25 mm no período. Isso advém do fato de refletir menos (absorver mais) radiação solar e emitir menos radiação de onda longa, isto é, em razão do menor albedo deste tipo de vegetação, consequentemente, armazena mais energia para aquecimento e evaporação. Esse fato é evidenciado também no trabalho de NOBRE et al. (1996). A soja totalizou 19 mm de evapotranspiração.

Nas duas culturas, a variação temporal da evapotranspiração é governada pelo ciclo diurno da radiação solar, com o valor máximo aproximadamente às 13 horas local. Este comportamento pode estar relacionado também com a ausência de nebulosidade nas simulações, uma vez que ele possui efeito direto no balanço de energia sobre a cultura. Normalmente a vegetação rasteira não sombreia o solo completamente, exceto em caso de avançado estágio de desenvolvimento. As necessidades hídricas de uma cultura podem continuar crescendo com o aumento do IAF, mesmo quando esse se apresenta elevado o suficiente para sombrear o solo completamente. Logo, é notória a relação entre  $E_t$  e IAF concordando com as observações de Sá et al. (1996), citado por NOBRE et al. (1996).

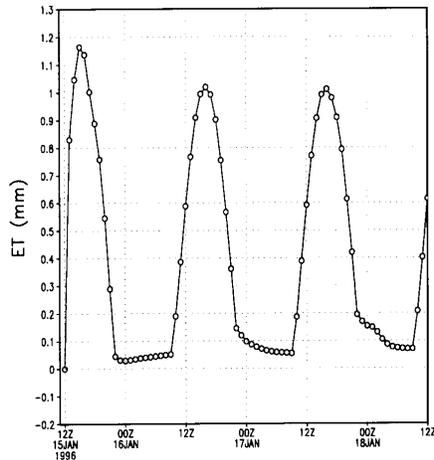


Figura 1 - Previsão de 72 horas da ET(mm/h) sobre a Floresta.

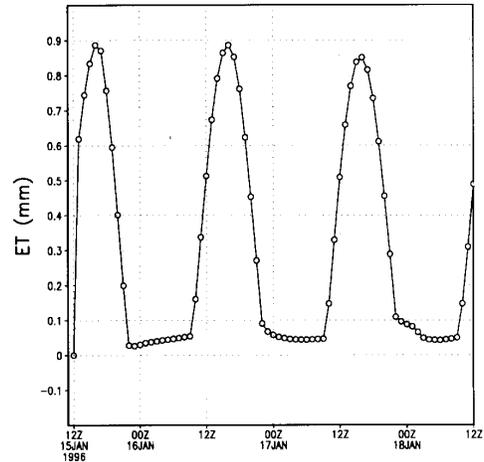


Figura 2 - Previsão de 72 horas da ET (mm/h) sobre a soja.

#### IV- Referências Bibliográficas

- AVISSAR, R., MAHRER, Y. A model to simulate response of plant stomata to environmental conditions. **Agr. For. Meteorol.**, v.34, n. 1, p. 21-29, 1985.
- BUSINGER, J. A., WINGAARD, J.C., IMUZI, E.F. et al. Flux profile relationships in the atmosphere surface layer. **J. Atmos. Sci.**, v. 28, n. 10, p. 181- 187, 1971.
- DICKINSON, R. E., SELLERS, A.H., KENNEDY, P.J. et al. **Biosphere-atmosphere transfer scheme (BATS) for the NCAR community climate model**. Boulder, Colorado: s.n., 1980. 200p. (Near Technical Notes).
- LOUIS, J.F. A parametric model of vertical eddy flux in the atmosphere. **Boundary- Layer Meteorol.**,v. 17, n.2, p.187-202, 1979.
- NOBRE, C.A., GASH, J.H.C., ROBERTS, J.M., et al. Conclusions from ABRACOS. In: GASH, J.H.C., NOBRE, C.A., ROBERTS, J. M. et al. (Eds.). Amazon deforestation and climate. Chichester, UK: John Wiley & Sons, 1996. p. 586-595.
- PRATES, J.E. **Controles associados à distribuição espacial da precipitação no verão no estado de Minas Gerais**: aspectos fisiográficos e meteorológicos. São Paulo, SP: USP, 1994. 180p. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade de São Paulo, 1994.
- SISMANOGLU, R.A. Estimativas da taxa de evapotranspiração aplicando um modelo numérico de mesoescala na Região do Triângulo.Viçosa, MG: UFV, 1997. 121p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- TREMBACK, C.J. **Numerical simulation of a mesoscale convective complex: model development and numerical results**. Fort Collins: Colorado State University, 1990. 247p. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Colorado State University, 1990.
- WALKO, L.R., TREMBACK, C. J. **RAMS - the regional atmospheric modelling system V. 3b: user's guide**. Fort Collins, CO: Aster Inc., 1993. 102p.