

ISSN 0104-1347

Distribuição espacial da evapotranspiração potencial no Rio Grande do Sul usando o modelo complementar de Morton¹

Spacial distribution of potential evapotranspiration in the Rio Grande do Sul State, Brazil, using Morton's complementary model

Edmir dos Santos Jesus² e Simone Vieira de Assis³

- NOTA TÉCNICA / TECHNICAL NOTE -

Resumo: A evapotranspiração em uma região é limitada pela disponibilidade de água e as alterações que ocorrem na temperatura e umidade do ar da região refletem na evapotranspiração potencial. Tais interações são levadas em conta no Modelo Complementar de Morton que foi usado neste trabalho para estimar as taxas mensais de evapotranspiração potencial de distintas localidades do Rio Grande do Sul, no período de 1969 a 1998. Foi utilizado o programa computacional WREVAP, em linguagem Fortran, opção CRAE. Os dados meteorológicos que iniciam o programa para o modelo CRAE são as médias mensais de temperatura do ponto de orvalho (°C), da temperatura do ar (°C) e do brilho solar real (horas), normal anual de precipitação (mm); altitude (m) e latitude (graus) da estação. A base conceitual do modelo leva em consideração os efeitos de fenômenos de Larga Escala que contribuem para variar a evapotranspiração potencial. A estimativa da ETP por meio desse Modelo, para o Estado, foi satisfatória tendo-se verificado valores altos na metade Oeste do Estado, destacando-se o Norte nos meses de maio a julho. Valores baixos são verificados nos meses de maio a agosto, na região do Litoral Sul, e ainda, no Nordeste, nos meses de outubro a abril.

Palavras-chave : evapotranspiração potencial, modelagem

Abstract: The evapotranspiration in an area is limited by water availability and the changes in air temperature and humidity in this area affect the potential evapotranspiration (ETP). Such interactions are taken into account in Morton's Complementary Model that was used in this study to estimate the monthly rates of potential evapotranspiration of different places of Rio Grande do Sul State, Brazil, from 1969 to 1998. The computational program WREVAP was used, which is in language Fortran, option CRAE. The meteorological data that initialize the program for the model CRAE are mean monthly values of dew point temperature (°C), air temperature (°C), number of hours of sunshine and average annual precipitation (mm). Furthermore, it requires altitude (m) and latitude (degrees) of each place. The conceptual base of the model takes into account the effects of phenomena of large scale that contribute to vary the potential evapotranspiration. Estimate of ETP by the Model for the State showed to be satisfactory, being verified high values in the half West of the State, standing out the North for the months from May to July. Small values were verified in the months of May to August, in the South Coast, and in Northeast region in the months of October to April.

Key words: potential evapotranspiration, modeling

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor junto ao Curso de Pós-Graduação em Meteorologia, UFPel.

² Meteorologista, M.S, Trav. Manoel P. Rocha n° 1387 cep: 68925-000. Santana-AP. e-mail : edmir.jesus@iepa.ap.gov.br

³ Meteorologista, Prof^a Dr^a, Depto de Meteorologia/ FACMET/ UFPel. cep:96010-900. Pelotas-RS. e-mail: assis@ufpel.edu.br

Introdução

O conceito de “evapotranspiração” refere-se ao total de perda d’água perdida por evaporação e por transpiração para a atmosfera a partir de uma superfície vegetada. Sua determinação, seja por modelos matemáticos ou por lisimetria, tem como principal finalidade avaliar a influência direta dos elementos meteorológicos na quantidade de água evapotranspirada e, de modo indireto, como a atmosfera induz o processo. As pesquisas sobre essa variável são diversificadas, normalmente aplicadas a cultivos agrícolas, estabelecidos no campo ou em ambientes protegidos, mas com a finalidade específica de relacioná-la com o coeficiente de cultura, com índice de área foliar ou para verificar qual variável meteorológica contribui para sua alteração (FARIAS et al, 1994; ALBUQUERQUE et al, 1997; MATZENAUER et al, 1998).

A evapotranspiração sob condições de restrições hídricas constitui um processo muito complexo e de difícil dedução por métodos climatológicos. O grau de disponibilidade hídrica no ambiente radicular das plantas cultivadas e na superfície do solo, afetam significativamente a razão de evapotranspiração (MOTA, 1977).

BOUCHET (1963) formulou a hipótese de que variações na evapotranspiração potencial e na real da área, devido à variações no fornecimento de umidade regional são complementares. MORTON (1965), desenvolveu uma equação para a hipótese de Bouchet, a qual foi sendo aperfeiçoada pelo mesmo até chegar em um modelo fundamentado no conceito de que existe uma relação complementar entre a evapotranspiração potencial e a evapotranspiração real da área, isto é, existe uma resposta complementar, igual e de sinal contrário entre ambas, devido as mudanças de disponibilidade de água para a evapotranspiração real. Vários pesquisadores tem usado a relação complementar de Morton para a obtenção da evapotranspiração potencial e evapotranspiração real de área (espacial), chegando a bons resultados.

No Brasil, MARCELINO (1997, 1998) e MARCELINO & LEOPOLDO (1998) investigaram a validade do modelo de relação complementar de Morton, para estimativas médias mensais de 14 anos de evapotranspiração potencial e espacializada em 20

localidades distintas do Estado de São Paulo. Eles concluíram que o método apresentou boa concordância com as estimativas feitas pelo método de Penman, com as irradiâncias globais e de onda longa estimadas pelas equações de Angström-PreScott e Brunt, respectivamente.

SANSIGOLO (2002), utilizando a mesma metodologia, obteve estimativas climatológicas da ETR em Piracicaba no Estado de São Paulo, para o período de 1945 a 2000. O desempenho do modelo foi verificado por comparação com a evapotranspiração obtida por balanços hídricos climatológicos pelo método de Thornthwaite & Matter (1955) e com as estimativas obtidas pelos métodos de Brutsaert & Stricker (1979) e de Penman (1948). Concluiu-se que as taxas de evapotranspiração regional variavam de 4,5mm.dia⁻¹ no verão a 1,0 mm.dia⁻¹ no inverno.

CARDOSO (2003), utilizando o modelo de Morton, obteve estimativas médias de evapotranspiração potencial, espacializadas em distintas localidades do Rio Grande do Sul, no período de 1973 a 1991 e estimativas médias por quinquídio para a cidade de Pelotas-RS, no período de 1966 a 1996.

O objetivo desse trabalho foi estimar a evapotranspiração potencial para o Rio Grande do Sul na escala mensal, usando o modelo complementar de Morton, identificando os diferentes potenciais evapotranspirométricos nas distintas regiões do Estado.

Material e Métodos

Foram utilizadas (vinte) estações meteorológicas de regiões ecoclimáticas do Estado do Rio Grande do Sul (Figura 1).

Foram utilizados os dados meteorológicos mensais de temperatura do ar, umidade relativa do ar, brilho solar (horas), total anual de precipitação e temperatura do ponto de orvalho, sendo este último obtido por equação empírica. A série de dados foi obtida junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET/ 8°DISME) e a Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), correspondentes aos anos de 1969 a 1998. Nem todas as estações meteorológicas possuem a série climatológica completa.

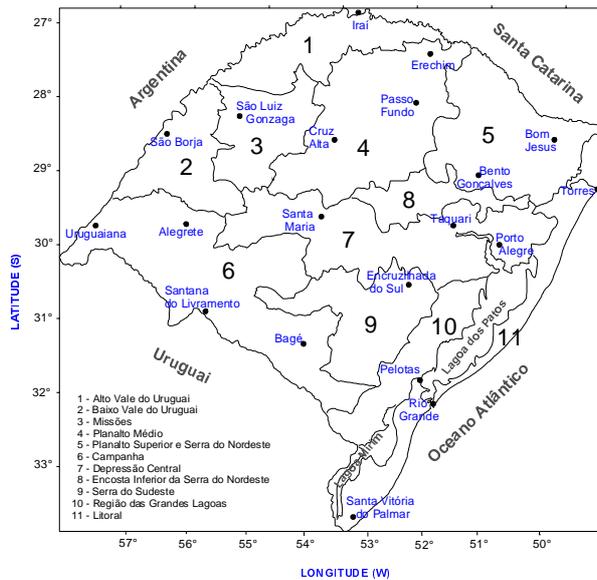


FIGURA 1. Localização geográfica das Estações Meteorológicas do estudo e respectivas regiões ecoclimáticas. Fonte :Rio Grande do Sul, 1994.

Para estimar a evapotranspiração potencial, foi utilizado o programa computacional WREVAP, em linguagem Fortran (MORTON et al., 1985), que tem três opções de modelo. Utilizou-se o modelo CRAE (relação complementar de evapotranspiração de área). A base conceitual do modelo CRAE leva em consideração os efeitos de fenômenos de larga escala que contribuem para variar a taxa de evapotranspiração potencial e cuja equação que descreve a relação complementar, segundo MORTON (1983), é expressa da seguinte forma:

$$ET_p = 2ET_w - ET_r \quad (1)$$

onde ETP é a evapotranspiração potencial estimada por solução de equações do balanço de energia e de transporte de vapor d'água, representando a evapotranspiração que ocorreria em uma superfície úmida hipotética, com características de absorção de radiação e de transporte de vapor semelhantes àquelas de uma extensa área; ETR é a evapotranspiração real de área que ocorre em uma área bastante extensa e ETW representa a evapotranspiração de um ambiente úmido. A Figura 2 mostra a relação esquemática entre as três variáveis da equação (1), considerando o fornecimento de energia radiante constante.

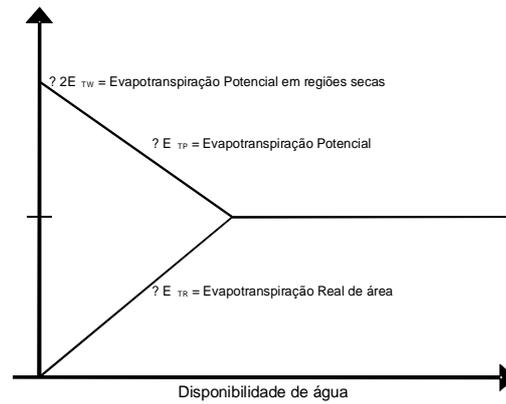


FIGURA 2. Representação esquemática da relação complementar entre evapotranspiração potencial e evapotranspiração real de área, com fornecimento de energia radiante constante (MORTON, 1983).

A ordenada representa a evapotranspiração e a abscissa a disponibilidade hídrica à superfície solo-planta. Quando não há água disponível para a evapotranspiração real (extremo esquerdo da Fig. 2), ET_r é nula, o ar é muito quente e seco e a ET_p tem valor máximo igual a $2ET_w$.

A ET_p é estimada por solução de equações do balanço de energia E_{TP} e saldo de radiação à temperatura de equilíbrio R_{Np} , proposta por PRIESTLEY & TAYLOR (1972), ajustada para considerar os efeitos de advecção (divergência horizontal) de larga escala.

$$E_{TP} = R_N - \lambda f_T (T_p - T) \quad (2)$$

$$R_{Np} = E_{TP} + \gamma p f_T (T_p - T) \quad (3)$$

onde T_p é a temperatura de equilíbrio ($^{\circ}C$), T é a temperatura do ar ($^{\circ}C$), f_T é o coeficiente de transferência de vapor d'água, λ é o coeficiente de transferência de calor, igual a

$$\lambda = \gamma p + \frac{4\epsilon\sigma}{f_T} (T + 273)^3, \text{ sendo } \gamma \text{ a constante}$$

psicrométrica, p a pressão atmosférica, σ a constante de Stefan-Boltzman, e ϵ a emissividade da superfície.

A estimativa do saldo de radiação R_N para superfície solo-planta à T , envolve as variáveis: albedo médio (a); perda de radiação de onda longa para o conjunto solo-planta (B) e radiação solar global incidente (G). Desse modo:

$$R_N = (1-a)G - B \quad (4)$$

com as contribuições :

$$a = a_0 \left[S + (1-S) \left(1 - \frac{Z}{330} \right) \right] \quad (5)$$

$$B = \varepsilon \sigma (T + 273)^4 \left[1 - \left(0,71 + 0,007 v_d \frac{p}{p_s} \right) (1 + \rho) \right] \quad (6)$$

$$G = SG_0 + (0,08 + 0,30S)(1-S)G_E \quad (7)$$

$$\text{sendo, } G_0 = G_E \tau \left[1 + \left(1 - \frac{\tau}{\tau_a} \right) (1 + a_0 \tau) \right] \quad (8)$$

$$\text{e } G_E = \left(\frac{1354}{\eta^2} \right) \left(\frac{\omega}{180} \right) \cos Z \quad (9)$$

sendo: G_0 a radiação global a céu claro; G_E a irradiância solar no topo da atmosfera; η a excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol; v_d a pressão de saturação de vapor a T_d ; ω o ângulo horário; z o ângulo zenital médio diário; Z o ângulo zenital ao meio dia; τ a transmitância para céu claro e a fração absorvida τ_a .

Resultados e Discussão

O Rio Grande do Sul está localizado no início da zona intertropical, e nessa zona o Sol não alcança o zênite, mas mesmo assim a radiação solar recebida é bastante significativa. A proximidade do Oceano Atlântico propicia uma maior disposição ao processo evaporativo, fazendo com que a região litorânea apresente maior quantidade de vapor d'água, tendo como consequência mais nuvens, precipitantes ou não. O Estado é atingido pelos principais centros de ação, quer das latitudes baixas, ou daqueles originários das latitudes elevadas. Esses centros de origem dinâmica associam-se as variações sazonais de temperatura, que é um dos fatores limitantes à ocorrência de ET_p e contribuem para sua variação em extensas áreas. A análise da evapotranspiração potencial foi feita para as dist regiões ecoclimáticas do Estado levando em consideração também à época do ano.

A distribuição da ETP (Figura 3a), no primeiro mês do ano, apresentou um aumento na direção

Oeste do Estado, principalmente nas regiões das Missões, Baixo Vale do Uruguai e Litoral Norte. Os menores valores concentraram-se no centro da Depressão Central, em Taquari (146,5mm), e numa pequena faixa do NE do Estado, com valores abaixo de 120mm. Nessa época do ano a temperatura é mais alta, associada com a intensidade maior de radiação solar favorecendo a alta taxa de ETP nessas regiões (BERGAMASCHI et al, 1992).

Na Figura 3b observa-se aumento da ETP do centro da Depressão Central em direção ao Planalto Médio e, também, em direção ao SE do Estado, com valores de 117,1mm em Taquari, 158,2mm em Cruz Alta e 155mm no Litoral. Outro aumento significativo pode ser visto em Uruguaiana (183,1mm) na região da Campanha.

Há um aumento da ETP do centro da Depressão Central a Oeste do Estado e queda em direção à Serra do Nordeste (Figura 3c). A região do Alto e do Baixo Vale do Uruguai mostraram valores entre 160 e 170mm. Do Litoral Norte ao extremo Norte do Planalto Médio vê-se que os valores diminuem de 129mm, em Torres a 109,7mm, em Erechim.

Em abril as regiões com valores mais altos de ETP (Figura 3d), foram Alto Vale do Uruguai, Norte das Missões e Litoral Norte. Já a localidade de Taquari apresenta-se situada no núcleo de baixos valores.

A partir do mês de Maio (Figura 3e) a precipitação aumenta consideravelmente no Rio Grande do Sul, o saldo de radiação é reduzido e isto contribui para que a ETP seja mais baixa, principalmente na região das Missões, Campanha, parte da Depressão Central (Taquari), Litoral Sul e extremo do Planalto Médio e Serra do Nordeste.

Em junho (Figura 3f) os maiores valores de ETP são observados no NW (parte da região das Missões, Alto e Baixo Vale do Uruguai) e Litoral Norte do Estado. O menor valor é verificado em Taquari (34,8mm) e o maior em Passo Fundo (59,5mm).

Situação semelhante é observada na figura 4a, com um leve aumento nas regiões das Missões e centro do Planalto Médio, com valores superiores a 66mm. Na região central verifica-se uma redução na ETP de 56 a 41mm.

Para o mês de Agosto (Figura 4b) há um decréscimo da ETP, em direção ao centro da Depressão Central. Na região das Missões e em parte do Planalto Médio, os valores se distribuíram na direção Oeste do Estado.

Na Figura 4c tem-se um crescimento contínuo na direção Oeste do Estado. Ainda pode ser visto que na região Nordeste, centro-Leste, Sul das Grandes Lagoas e Litoral Sul, os valores mantiveram-se abaixo de 90mm.

Em concordância com BERGAMASCHI et al. (1992) nos meses mais quentes do ano a precipitação não supre as exigências hídricas das culturas de verão. Assim, no mês de Outubro (Figura 4d) a evapotranspiração potencial supera a precipitação, sendo que as regiões Oeste, Sudoeste e Litoral Sul são as que mais apresentaram essa diferença.

Já para o mês de Novembro (Figura 4e) a redução é verificada nas regiões Nordeste, centro e Sul do Estado, estando esses valores abaixo de 150mm. Na região central do Estado os valores situam-se entre 130 e 145mm.

Na Figura 4f, último mês do ano, observa-se o aumento em direção a Oeste do Estado, indo de 216,7mm em Santa Maria a 252,3mm em Uruguaiana. Verifica-se também, que neste mês, a evapotranspiração se apresenta bem superior em relação aos outros meses, devido ao aquecimento provocado nessas regiões. Dessa forma, nota-se que quanto maior o aquecimento, maior será a evapotranspiração potencial em virtude da temperatura alta e do brilho solar real, nessa época do ano, nessas regiões. Ainda para este mês, percebe-se que em grande parte do Estado os valores de ETP superam os valores de precipitação ocasionando assim, a deficiência hídrica, como observado por BERLATO (1992).

Conclusões

O Modelo Complementar de Morton apresenta-se adequado à boa estimativa da evapotranspiração potencial no Estado do Rio Grande do Sul.

Observa-se que a ETP é alta na metade oeste do Estado, destacando-se o Norte nos meses de maio

à julho. Valores baixos são verificados nos meses de maio a agosto, na região do Litoral Sul, e ainda, no Nordeste, nos meses de outubro a abril. Taquari, na região da Depressão Central, destaca-se por apresentar, na maior parte do ano, a evapotranspiração potencial baixa nos meses de março a setembro.

Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, P.E.P.; KLAR, A.E.; GOMIDE, R.L. Estimativa da evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) em função do índice de área foliar e da evaporação da água do tanque classe A. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.183-187, 1997.

BERGAMASCHI, H et al. **Agrometeorologia aplicada à Irrigação**. Porto Alegre: Editora Universidade/ UFRGS, 1992. 125p.

BERLATO, M. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. *In*: H. Bergamaschi (coord.), **Agrometeorologia Aplicada à Irrigação**, Editora da Universidade, UFRGS, Porto Alegre, 1992, p. 11-24.

BOUCHET, R.J. Evapotranspiration Réelle et potentielle, signification climatique. *In*: International Association of Scientific Hydrology Symposium, 62., 1963, Berkeley, **Anais...**p.134-142.

CARDOSO, M.A.G. **Estimativas de Evapotranspiração regional pelo modelo conceitual da relação complementar de Morton para o Rio Grande do Sul**. 52p.2003. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Faculdade de Meteorologia. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2003.

FARIAS, I.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R. Evapotranspiração no interior de estufas plásticas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.2, p.17-22, 1994.

MARCELINO, B. C. **Estimativas de Evapotranspiração Regional do Modelo de Morton e Aplicação no Cálculo de Balanço Hídrico, para o Estado de São Paulo**. 129p. 1997. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

- MARCELINO, B. C. Estimativas de evapotranspiração usando os modelos de Morton e Penman. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, X, 1998, Brasília. **Resumos...** Brasília-DF: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- MARCELINO, B.C., LEOPOLDO, P.R. Estimativas operacionais de evapotranspiração regional. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, X, 1998, Brasília. **Resumos...** Brasília-DF: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1998.
- MATZENAUER, R. BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.A. Evapotranspiração da cultura do milho. II - Relações com a evaporação do tanque classe A, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Santa Maria, v.6, n.1, p.15-21, 1998.
- MORTON, F.I. Operation estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of Hydrology**, v.66, p.1-76.1983.
- MORTON, F.I. Potencial evaporation and river basin evaporation. **Journal Hydraul. Div., Proc. Am. Soc. Civ. Eng.**, v.91, n.HY6, p.67-97,1965.
- MORTON, F.I., RICARD, F., FOGARASI,S. Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation – Program WREVAP. **National Hydrology Research Institute**. Inland Waters Directorate. Ottawa, Canada, NHRI PAPER,n.24, 1985.
- MOTA, F. S. **Meteorologia Agrícola**, São Paulo, NOBEL, 1977.
- SANSIGOLO, C. A. Estimativas Climatológicas de Evapotranspiração Regional em Piracicaba-SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.17, n.1, p. 11-18, 2002.