

# CLIMATOLOGIA DE GEADAS DO PARANÁ

Alexandre K. GUETTER<sup>1</sup> e Marcelo B. ZAICOVSKI<sup>2</sup>

## RESUMO

A geada é um fenômeno freqüente no estado do Paraná durante o outono-inverno. A região Sul do Estado pode sofrer geadas no período abril-setembro, a região centro-oeste no período maio-agosto, enquanto que as regiões noroeste e norte sofrem geadas com menor freqüência, tendo os meses de junho-julho como período crítico. Esse estudo atualiza a análise climatológica de ocorrência de geadas no Estado do Paraná, assimilando os dados diários de temperatura mínima registrados pela rede de estações meteorológicas do IAPAR até o ano de 1997. Assumiu-se que a ocorrência de geadas é caracterizada pelo registro de temperatura mínima em abrigo meteorológico inferior a 3 °C. Determinou-se o número de ocorrências de geadas em cada mês para cada estação e estimou-se o número mensal de ocorrência de geadas associado às probabilidades de 50%, 25% e 10%. As probabilidades foram derivadas da distribuição empírica (amostral) de ocorrência de geadas. Parte da região Central e região Sul do Paraná apresentam mais de 6 geadas por mês durante o período Maio-Junho-Julho, com probabilidade de 10% (tempo de retorno de 10 anos). As regiões Norte e Noroeste do Paraná sofrem até duas geadas durante o período Junho-Julho-Agosto, com 10% de probabilidade.

**PALAVRAS CHAVE:** Geada, Climatologia, Temperatura Mínima

## INTRODUÇÃO

Geadas e baixas temperaturas limitantes para a agricultura no Paraná estão associadas com a entrada de massas de ar frio provenientes de altas latitudes. Essas massas de ar frio são observadas durante o período entre abril e setembro. Marengo et al. (1997) descreveu as características sinóticas da entrada de massas de ar frio no Sul do Brasil, associadas com ocorrências de geadas, indicando que (1) há a atuação de um sistema crista/cavado em altos níveis, (2) há a passagem de um sistema frontal pelo sul/sudeste do Brasil, (3) há o acompanhamento de alta pressão com o escoamento de sul/sudeste dirigido para o continente. O monitoramento da região central Argentina é muito importante no monitoramento e previsão de geadas no Paraná. Os processos dinâmicos

---

<sup>1</sup> Dr., Pesquisador Consultor. Sistema Meteorológico do Paraná, SIMEPAR. Caixa Postal 318, 80001-970, Curitiba, PR. E-mail: guetter@simepar.br.

<sup>2</sup> Meteorologista. Sistema Meteorológico do Paraná, SIMEPAR. Caixa Postal 318, 80001-970, Curitiba, PR. E-mail: brauer@simepar.br

associados à entrada de ar frio no Paraná têm previsibilidade de ordem de 48 horas (Marengo et al., 1997).

Esse estudo climatológico de ocorrência de geadas fornece informações temporais e espaciais do risco de geadas relativas aos meses do período outono-inverno, subsidiando o processo de monitoramento e previsão de geadas ao apresentar as fases e locais com maior frequência do fenômeno.

A geada é um fenômeno freqüente no estado do Paraná durante o outono-inverno. As regiões sul e centro-oeste do estado podem sofrer geadas no período de abril, enquanto que as regiões nordeste e noroeste sofrem geadas com menor freqüência durante o período junho-julho. O efeito das geadas é devastador para várias culturas, particularmente para cafezais se não tiverem proteção adequada (Caramori e Manetti, 1993). A caracterização da geada utiliza a temperatura de relva. Contudo, normalmente se emprega uma correlação entre temperatura de relva e temperatura em abrigo meteorológico com a série de temperaturas mínimas de abrigo para se identificar períodos de geada (Sentelhas et al., 1996). Temperaturas mínimas de abrigo inferiores a 3 °C estão associadas com a ocorrência de geadas no Paraná (Grodzki et al., 1996), tendo sido o critério adotado para a definição de geada nesse estudo. Não se fez distinção entre geadas fortes e fracas, tendo-se mantido unicamente o critério de que  $T_{min} < 3^{\circ}C$  corresponde à ocorrência de geadas. Portanto, podem haver casos de ocorrência de geadas fracas que estiveram associadas a  $T_{min} > 3^{\circ}C$  e não foram incluídas nas estatísticas desse estudo.

## DADOS

Analisaram-se as séries diárias de temperatura mínima ( $T_{min}$ ) para um conjunto de 28 estações meteorológicas mantidas pelo IAPAR. Excluíram-se da análise os dados de 5 das 33 estações da rede do IAPAR por apresentar: (1) índice de falha superior a 1,5% e (2) falhas consecutivas de observação de  $T_{min}$  durante o outono-inverno. A Figura 1 ilustra a localização e número de anos de observação das estações selecionadas. O período de observação de  $T_{min}$  variou de 19 a 44 anos, com 70% das estações apresentando entre 20 e 25 anos de observações. Há apenas duas estações com mais de 40 anos de observações: (1) Ponta Grossa, no Centro (centro-leste) do Paraná e (2) Cambará no Norte (nordeste).

O controle de qualidade dos dados de temperatura mínima e máxima foram realizados simultaneamente com rotinas desenvolvidas pelos autores usando os procedimentos descritos por Kunkel et al. (1998). O processo de controle de qualidade consiste em quatro testes: (1) *Verificação de Extremos*: os limites extremos tanto superior quanto inferior foram determinados para cada estação ao longo de sua série histórica, obtidos através da classificação de todos os seus

dados diários. O limite de aceitabilidade ficou definido entre 1% e 99%. Valores acima do limite superior e abaixo do inferior foram considerados suspeitos e os períodos de 5 dias centrados no valor suspeito foram analisados individualmente para manutenção ou exclusão do dado suspeito.

(2) *Verificação de Inconsistência dos Valores Máximos e Mínimos*: a temperatura máxima de um determinado dia deve ser, no mínimo, maior que a temperatura mínima do dia anterior, e também maior que a mínima do respectivo dia. A temperatura mínima de um dia específico deve ser equivalente ou menor que a temperatura máxima do dia anterior.

(3) *Persistência*: dados de temperatura máxima e mínima foram considerados suspeitos quando ocorreram pelo menos durante três dias consecutivos com o mesmo valor.

(4) *Salto*: A série de dados de temperaturas máximas e mínimas foram verificadas para cada salto de temperatura, com seus limites definidos ao longo da série histórica de cada estação, de forma semelhante a da verificação dos extremos. Um salto é definido como um valor central sendo superior ou inferior aos valores anterior e seguinte. Para saltos superiores ao limite, apenas o valor central foi considerado suspeito. Confirmado que o dado não é bom, considerou-se que o dado é impróprio e atribuiu-se o código de falha a esse valor.

O processo de controle de qualidade sobre a base de dados históricos é fundamental para a correta caracterização dos casos de geadas, que correspondem a T<sub>min</sub> próximas dos extremo inferior da distribuição.



FIGURA 1 – Localização das estações da rede do IAPAR utilizadas na análise.

## METODOLOGIA

Desenvolveu-se um procedimento para computar o número de ocorrências de geada (ou  $T_{min} < 3^{\circ}C$ ) por mês para cada estação, e calcular as estatísticas climatológicas (número de geadas médio, máximo e mínimo). Determinou-se o número mensal de ocorrências de geada associado às probabilidades de 10%, 25% e 50% através das propriedades amostrais do período de observação. A série mensal do número de geadas foi ordenada em ordem decrescente para cada mês do ano e o número de geadas correspondentes a um determinado percentil correspondeu à sua posição na série ordinal. Por exemplo, para uma estação com 40 anos de observações, classificou-se em ordem decrescente os 40 registros mensais de geada, e o número de geadas associado com as probabilidades de 10%, 25% e 50% correspondem ao 4º, 8º, e 20º valores da série ordinal, respectivamente. Portanto, quanto menor a probabilidade (ou maior o tempo de recorrência), maior é o número de geadas. O nível de 10% de probabilidade está associado ao tempo de recorrência de 10 anos, ou seja, ao risco de ocorrer um conjunto de geadas no mês de referência, uma vez a cada 10 anos. O número de geadas com 10% de probabilidade é superior ao número de geadas com 25% ou 50% de probabilidade; conforme ilustra a Figura 2 para a estação de Ponta Grossa.

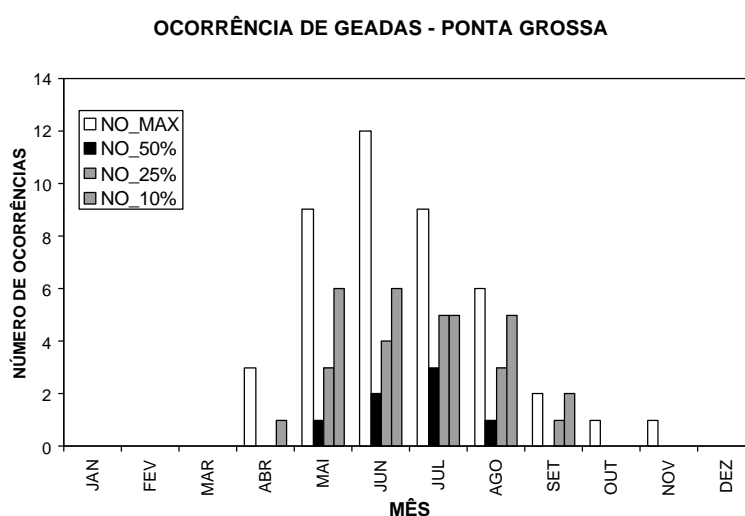


FIGURA 2 – Número de geadas em Ponta Grossa para as probabilidades de 10%, 25%, 50% e número máximo de ocorrências da série histórica.

A estação de Ponta Grossa, correspondendo à região Central do Paraná (Figura 1) já apresentou até 3 geadas em Abril e ainda teve registros de geadas nos meses de outubro e novembro. Contudo, a ocorrência de geadas, com 10% de probabilidade, limita-se ao período abril-setembro, e com 50% de probabilidade (tempo de recorrência de 2 anos) no período Maio-Agosto.

## RESULTADOS

A Figura 3 ilustra o número de geadas com 10% e 50% de probabilidade para o mês de maio, e as Figuras 4, 5, 6, e 7 para os meses de junho, julho, agosto e setembro, respectivamente. É freqüente a ocorrência de uma ou mais geadas (por mês) na Capital, Centro, Sul e Oeste do Paraná nos meses de Junho e Julho, conforme ilustram os mapas das Figuras 4 e 5 (50% de probabilidade). Ocorrências de geadas na região norte podem ocorrer nos meses de Junho-Julho e Agosto, porém associadas a probabilidades de 10%. As geadas precoces (em abril) e tardias (em outubro) têm ocorrência limitada à região Sul, ao nível de 10% de probabilidade.

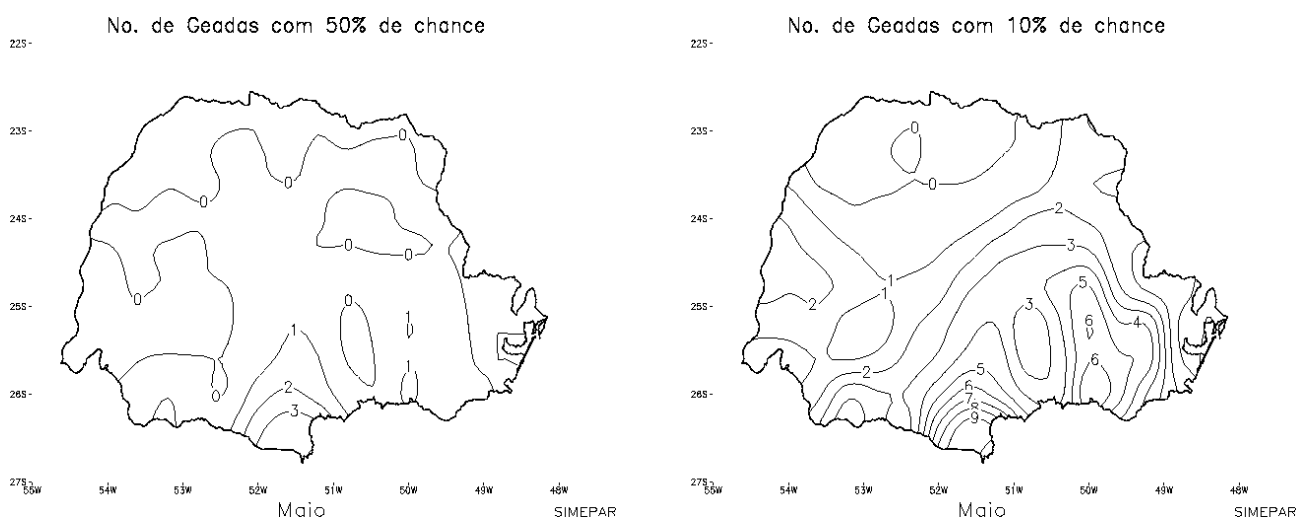


FIGURA 3 – Distribuição de ocorrências de geadas no mês de **maio** associadas com 50% de probabilidade (esquerda) e 10% de probabilidade (direita).

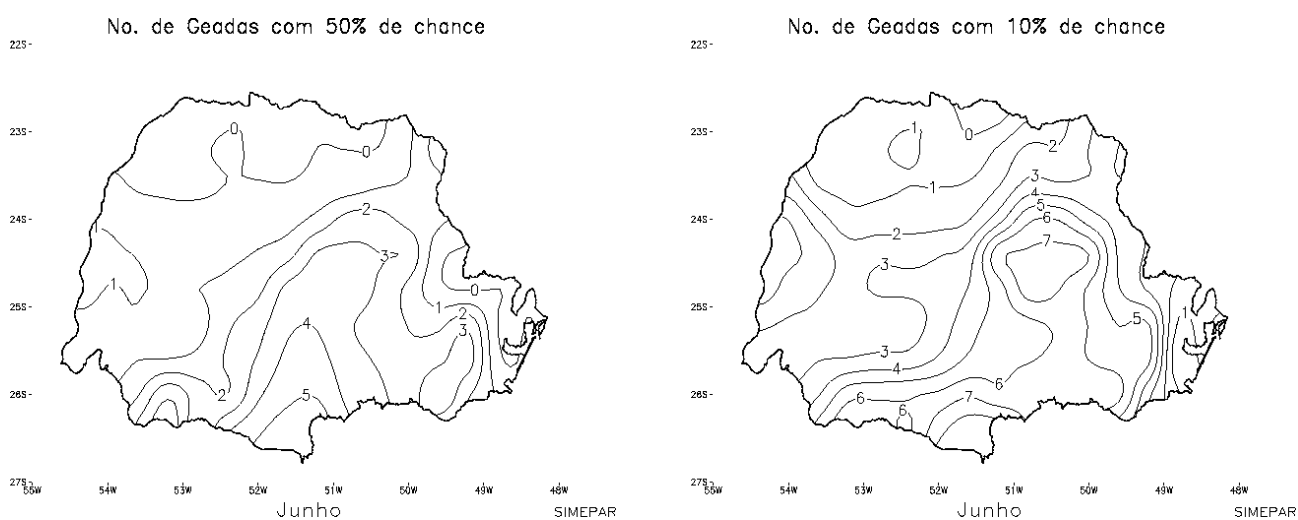


FIGURA 4 – Distribuição de ocorrências de geadas no mês de **junho** associadas com 50% de probabilidade (esquerda) e 10% de probabilidade (direita).

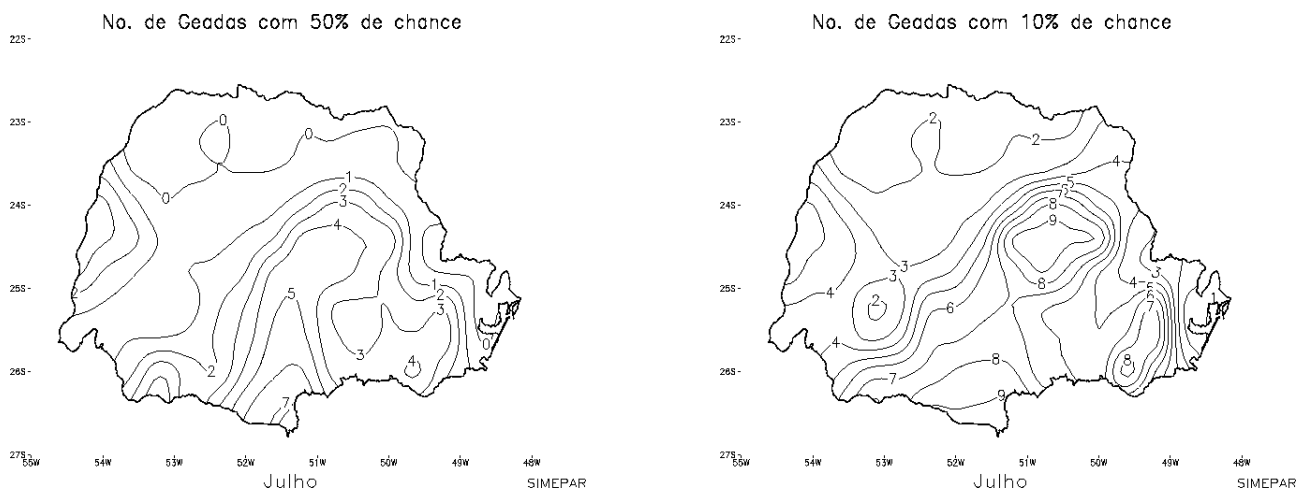


FIGURA 5 – Distribuição de ocorrências de geadas no mês de **julho** associadas com 50% de probabilidade (esquerda) e 10% de probabilidade (direita).

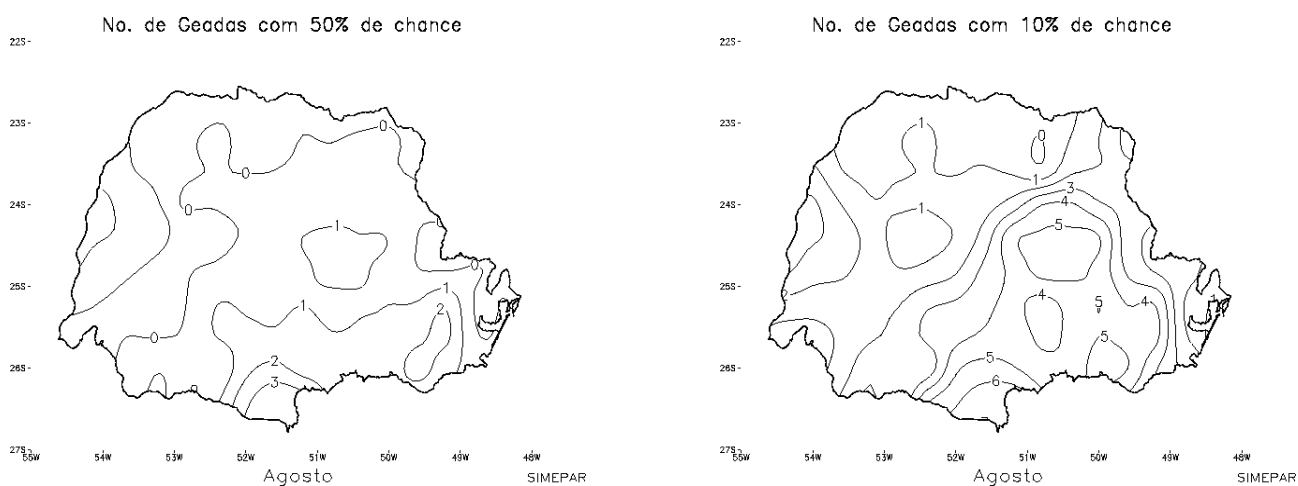


FIGURA 6 – Distribuição de ocorrências de geadas no mês de **agosto** associadas com 50% de probabilidade (esquerda) e 10% de probabilidade (direita).

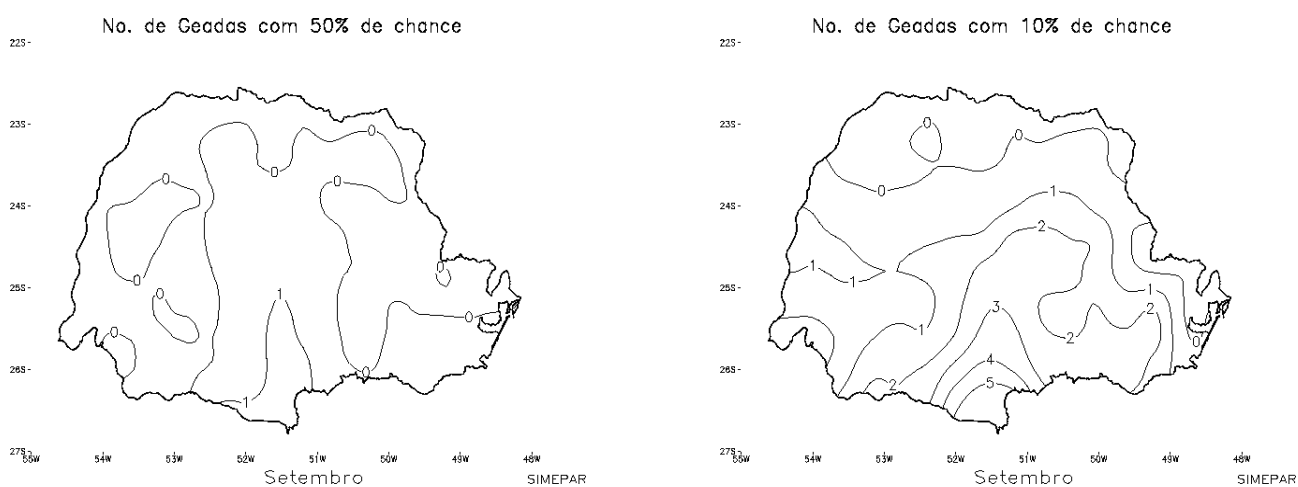


FIGURA 7 – Distribuição de ocorrências de geadas no mês de **setembro** associadas com 50% de probabilidade (esquerda) e 10% de probabilidade (direita).

## CONCLUSÃO

Esse estudo atualiza a análise climatológica de geadas para o Paraná apresentada por Grodzki et al. (1996) e estende a representação espacial da ocorrência de geadas para todo o Paraná. A apresentação dos resultados foi expressa em termos de probabilidades (50%, 25% e 10%) de ocorrência. O número de ocorrências de geada em um determinado local ao nível de 10% (tempo de recorrência de 10 anos) de probabilidade é significativamente maior do que o número de geadas para 50% de probabilidade (tempo de recorrência de 2 anos). A ocorrência de geadas precoces (abril) e tardias (outubro), ao nível de 10% de probabilidade, estão limitadas à região Sul do Paraná. Contudo, outras regiões também podem sofrer geadas precoces (como a registrada em abril/1999), embora o risco seja muito baixo, sendo inferior a 10%

## BIBLIOGRAFIA

- CARAMORI, P.H. e J. MANETTI FO, Proteção dos cafeeiros contra geadas. *IAPAR-Circular 79*, Londrina, IAPAR, 28 pp, 1993.
- GRODZKI, L., P.H. CARAMORI, A. BOOTSMA, D. OLIVEIRA e J. GOMES, Riscos de Ocorrência de Geada no Estado do Paraná. *Rev. Bras. Agrometeorol.*, **4**(1), 93-99, 1996.
- GUETTER, A.K. e C.G. DUQUIA, O Uso de Previsão Climática de Temperatura e o Prognóstico de Geadas. *Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 26-30 Outubro, 1998*.
- GUETTER, A.K. e M.B. ZAICOVSKI, Prognóstico Probabilístico da Ocorrência de Geadas no Paraná com o Uso de Previsões Climáticas e Climatologia Mensal das Temperaturas Mínimas. *Relatório Técnico no. 009/98*, SIMEPAR, Curitiba, PR, 62 pp, 1998.
- KUNKEL, K.E., K. ANDSAGER, G. CONNER, W.L. DECKER, H.J. HILLAKER JR., P.N. KNOX, F.V. NURNBERGER, J.C. ROGERS, K. SCHEERINGA, W.M. WENDLAND, J. ZANDLO, J.R. ANGEL, 1998: An Expanded Digital Daily Database for Climatic Resources Applications in the Midwestern United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **79**, 1357-1366.
- SENTELHAS, P.C., A.A. ORTOLANI, e J.R. M. PEZZOPANE, 1996: Estimativa da Temperatura Mínima de Relva e da Diferença de Temperatura entre Abrigo e a Relva em Noites de Geada no Estado de São Paulo. *IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordão, 1, Novembro 1996*, 228-230.
- MARENGO, J.A., A.G. CORNEJO, N. C. OYAMBURO e I.F.A. CAVALCANTI, 1997: Estudo de Caso da primeira Massa de Ar Frio em 1996 no Sul do Brasil. Observações e Resultados do Modelo de Circulação Geral da Atmosfera do CPTEC/COLA. *Rev. Bras. Meteorologia*, **12**(2), 9-24.

# COMPARAÇÃO DE DIFERENTES MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA ET<sub>o</sub> COM O MÉTODO DE PENMAN-MONTEITH-FAO, EM MOSSORÓ-RN

Ana Josicleide MAIA<sup>1</sup>, José ESPÍNOLA SOBRINHO<sup>2</sup>, Francisco Xavier de OLIVEIRA FILHO<sup>3</sup>

## RESUMO

Em todo o mundo, pesquisadores tentam determinar o método mais preciso para estimativa da evapotranspiração. Dadas as características pluviométricas da região na qual foi realizado este trabalho, na mesma só é possível o cultivo de qualquer cultura com o uso da irrigação, total ou suplementar, que para ser feita necessita que se saiba a quantidade precisa de água a ser aplicada. Foram coletados dados na Estação Meteorológica da ESAM (Lat.5°11' S; Long.37°20' W e Altitude 18m) com o objetivo de se estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) durante 27 anos (70-96), dia-a-dia, e correlacionar os dez métodos mais utilizados pelos irrigantes da região, com o método de PENMAN-MONTEITH-FAO, que atualmente é o mais recomendado. A análise de regressão foi feita com valores diários, médios mensais, e, revelou que o método de Kimberley - Penman foi o que melhor se correlacionou com o método padrão, com  $r^2 = 0.98$  enquanto o de Blaney - Criddle apresentou a maior dispersão dos dados com  $r^2 = 0.53$ .

## INTRODUÇÃO

Na elaboração e no manejo geral de um projeto de irrigação, um dos fatores de maior importância é a quantificação precisa do volume de água necessário para o desenvolvimento normal das culturas desejadas, durante o ciclo das mesmas. Isto pode ser feito através do conhecimento da evapotranspiração máxima da cultura ( ETC ) referente a cada espécie vegetal. Em todo o mundo, pesquisadores tentam determinar o método mais preciso para estimativa da evapotranspiração de referência que possa ser adaptado às condições de clima e solo, em função dos altos custos de construção e manutenção dos evapotranspirômetros para medida. Na prática alguns desses métodos são complexos e outros, embora de fácil aplicação, não apresentam resultados aceitáveis. Sendo assim, tem-se procurado recomendar métodos tanto pela sua precisão quanto pela sua praticidade.

---

<sup>1</sup> Estudante no Curso de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia. UFC/CE

<sup>2</sup> Eng.º Agr.º M.Sc. Prof.º Adjunto. Departamento de Engenharia Agrícola, ESAM. Caixa Postal 137, 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: ceae@esam.br

<sup>3</sup> Eng.º Civil M.Sc. Prof.º Adjunto. Departamento de Engenharia Agrícola, ESAM. Caixa Postal 137, 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: engeagro@esam.br



A FAO em 1977, editou o chamado manual 24 ( FAO-24 ) onde recomenda o método de Penman como o mais consistente, devendo ser utilizado sempre que se necessite de dados de evapotranspiração de referência. Em 1990, novamente a FAO reuniu, em Roma-Itália, os maiores pesquisadores do mundo na área de “necessidades hídricas para as culturas”. Dessa reunião saiu a proposta da indicação de um novo método, PENMAN-MONTEITH-FAO, que deverá ser recomendado, doravante, para estudos de estimativas da evapotranspiração de referência.

Segundo Allen *et al.*, citado por SEDIYAMA ( 1995 ), o método de PENMAN-MONTEITH-FAO desponta como o mais recomendado pela FAO, pois apresenta a vantagem de proporcionar bons resultados tanto em termos horários, quanto em termos diários. Além disso, comentam que é preferível utilizar a equação de PENMAN-MONTEITH-FAO quando os dados climáticos são de qualidade duvidosa, do que utilizar dados lisimétricos de qualidade também duvidosa. Com base nestas justificativas, é que o objetivo principal deste trabalho foi estimar a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) através de dez (10) métodos, em Mossoró-RN, em 27 anos (70-96) de observações meteorológicas e correlacionar cada um com o método PENMAN-MONTEITH-FAO, considerado como padrão.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Existem hoje vários métodos para estimativa da evapotranspiração de referência. O uso de cada um depende dos dados climáticos disponíveis no local. Nesta pesquisa os dados foram coletados na estação meteorológica Jerônimo Rosado, dia-a-dia, durante 27 anos (70-96).

Após o cálculo da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e da correlação da ET<sub>o</sub> determinada por todos os métodos com o de PENMAN-MONTEITH-FAO, foi feita a análise de regressão pelo programa estatístico “Table Curve 2D” que testa milhares de equações e indica as que melhor se ajustam aos dados obtidos.

Para estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) foram selecionados onze (11) métodos, escolhidos devido a sua praticidade e ampla utilização em todo o mundo, e, mais especificamente no nordeste brasileiro, como métodos de estimativa da evapotranspiração de referência.

O método combinado PENMAN-MONTEITH-FAO, aqui escolhido como padrão para ET<sub>o</sub> da cultura hipotética, quando incorporado com resistência da superfície de 70 s/m e com os cálculos da resistência aerodinâmica fixada para grama de 0.12 m, de altura uniforme, pode ser expresso, para fins de padronização dos procedimentos de cálculos da evapotranspiração da cultura de referência, para estimativa de 24 horas (SEDIYAMA, 1995), pela fórmula:

$$ET_o = \left[ \frac{\Delta}{\Delta + g^*} \times (Rn - G) \times \frac{1}{I} \right] + \left( \frac{g}{\Delta + g^*} \right) \times \left( \frac{900}{t + 275} \right) \times V_2 \times (es - e), \text{ onde:}$$

$g^* = 1 + (0,33 \times V_2) =$  constante psicrométrica modificada;

$ET_o =$  evapotranspiração de referência estimada pelo método de Penman-Monteith ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$ );

$\Delta =$  declividade da curva de pressão de vapor de saturação ( $\text{KPa}/^\circ\text{C}$ );

$\gamma =$  constante psicrométrica ( $\text{KPa}/^\circ\text{C}$ );

$Rn =$  saldo de radiação à superfície ( $\text{MJ}/\text{m}^2/\text{dia}$ );

$G =$  fluxo de calor no solo  $\cong 0$ ;

$V_2 =$  velocidade do vento a 2m de altura (m/s);

$es =$  pressão de saturação (Kpa);

$e =$  pressão atual de vapor d'água (Kpa).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística comparou a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) estimada pelos 10 métodos mais usados na região, com os valores obtidos pelo método PENMAN-MONTEITH-FAO, que é hoje o mais usado no mundo inteiro.

De acordo com os dados obtidos, fez-se análise de regressão, que revelou existir razoável correlação dos métodos estudados com o padrão, com um coeficiente de determinação corrigido variando entre 0,53 e 0,98 e equação, na maioria dos casos, do tipo  $Y = a + b X^z$ , onde, Y é a evapotranspiração de referência estimada pelo método de PENMAN-MONTEITH-FAO; a, b, z são valores constantes definidos para cada método; X a evapotranspiração de referência estimada pelos métodos em estudo. Na análise de regressão feita encontrou-se equações com coeficientes de determinação maiores, mas que, devido à dificuldade na interpretação, optou-se por equações mais simples.

O quadro 01 apresenta os coeficientes de determinação corrigidos com as respectivas equações de regressão para os 10 métodos de evapotranspiração de referência estudados e comparados com o método de PENMAN-MONTEITH-FAO.

Através do quadro 01, verifica-se que o método de Kimberley -Penman foi o que melhor se comportou, com coeficiente  $r^2 = 0,98$ . Este resultado era esperado uma vez que as equações de Kimberley - Penman e Penman – Monteith-FAO são praticamente as mesmas, diferindo apenas em algumas variáveis como: constante psicometria modificada e calor latente de evaporação que o método PENMAN-MONTEITH-FAO envolve em sua equação. Este resultado não foi diferente do encontrado por BARROS *et al* ( 1996 ) em Caruaru - PE onde os métodos de Penman original e

Kimberley - Penman apresentaram maiores correlações em comparação com Penman-Monteith-FAO.

A equação de Linacre também correlacionou-se bem com o método padrão, com um coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,90$ ), como pode ser observado no quadro 01.

O método de Benavidez & Lopes que exige somente temperatura e umidade como parâmetros de entrada, obteve um coeficiente de determinação  $r^2 = 0,89$ .

Observa-se, ainda, que o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,87$ ) para o método PENMAN original alcançou a quarta melhor correlação com o padrão, não diferindo significativamente dos métodos de Linacre e Benavidez & Lopes. Resultados parecidos foram observados por BARROS *et al* (1996) em Caruaru - PE, onde o método de Penman original mostrou melhor correlação com o de PENMAN-MONTEITH-FAO.

O modelo de JENSEN - HAISE, esteve também entre os que apresentaram boa correlação com o método padrão, com o coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,87$ ). Este resultado não diferiu significativamente dos métodos de Linacre, Benavidez & Lopes e Penman, podendo ser usado, de acordo com a facilidade de aquisição dos dados, para o cálculo da evapotranspiração de referência para Mossoró-RN.

A correlação do método de Jensen - Haise com o Penman - Monteith-FAO apresentou um comportamento linear com  $r^2 = 0,85$ . Os métodos propostos por MAKKINK e HARGREAVES apresentaram o mesmo coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,78$ ), considerado razoável, com a diferença do primeiro ter se correlacionado linearmente com o PENMAN-MONTEITH-FAO.

Em um trabalho realizado por ALVES SOBRINHO *et al* (1996) em dourados, Mato Grosso do sul, para período mensal, o modelo de HARGREAVES teve desempenho excelente na estimativa do ETo com ( $r^2 > 0,90$ ) em comparação com o de PENMAN-MONTEITH-FAO. O mesmo não aconteceu com o trabalho de BARROS *et al* (1996) em Caruaru - PE, onde o método de Hargreaves obteve a baixa correlação com o método padrão.

O método do TANQUE CLASSE "A", aparece em 8º lugar em ordem decrescente, quando comparado com o de PENMAN-MONTEITH-FAO, com coeficiente de determinação ( $r^2 = 0,70$ ) e com equação Linear do tipo  $Y = a + b X$ , como pode ser visto no quadro 01.

Em trabalho realizado em Botucatu - SP por COSTA *et al* (1996), o método do Tanque Classe "A" obteve boa correlação com o método de PENMAN-MONTEITH-FAO, considerado padrão. Já em Dourados - MS, para dados de ETo mensais, ALVES SOBRINHO, 1996 encontrou os piores resultados com  $r^2 = 0,27$ ; enquanto que para Ponta Porã - MS apresentou as melhores estimativas ( $r^2 = 0,70$ ) com relação ao padrão. Este mesmo resultado foi encontrado para Mossoró-RN. Devido à facilidade de uso, baixo custo de implantação e manutenção e poucos parâmetros de

entrada para seu cálculo, o mesmo pode ser usado para estimativa da evapotranspiração de referência.

Os métodos de estimativa da ETo propostos por Thornthwaite e Blaney-Criddle foram os que menos se correlacionaram com o método padrão, com coeficiente de determinação corrigido de 0.58 e 0.53, respectivamente quando comparados com o padrão.

Os resultados foram plotados graficamente nas figuras 01 e 02, onde percebe-se visualmente a boa uniformidade de distribuição dos dados, com os menores valores de ETo ocorrendo no período chuvoso (março, abril e maio) e os maiores na época mais seca e quente do ano (setembro, outubro e novembro).

Nas figuras 01 e 02 observa-se que ETo apresentou as menores amplitudes anuais quando estimada pelos métodos de Linacre, Makkink e Blaney-Criddle, confrontando com os modelos do Tanque Classe “A”, Kimberley-Penman e Jensen-Haise que destacaram-se pelas maiores amplitudes anuais entre os valores estimados.

Os menores valores médios diários foram estimados pelas fórmulas propostas por Linacre e Tanque Classe “A” ( $\cong 3.00$  mm/dia), enquanto que os maiores valores foram obtidos pelas formulações do Tanque Classe “A” e Kimberley-Penman com 8.0 e 9.5 mm/dia, respectivamente.

Quadro 01: Valores dos coeficientes de determinação e equações de regressão para os vários métodos comparados com PENMAN-MONTEITH-FAO

| Métodos de evapotranspiração | $r^2$ | Equações                  |
|------------------------------|-------|---------------------------|
| Kimberley – Penman           | 0.98  | $Y = 1.73 + 0.20 X^{1.5}$ |
| Linacre                      | 0.90  | $Y = 1.26 + 0.20 X^2$     |
| Benavidez & Lopez            | 0.89  | $Y = 2.39 + 0.013 X^3$    |
| Penman                       | 0.87  | $Y = 0.67 + 0.19 X^2$     |
| Jensen – Haise               | 0.85  | $Y = 1.35 X - 3.27$       |
| Makkink                      | 0.78  | $Y = X^{1.5} - 2.35$      |
| Hargreaves                   | 0.78  | $Y = 0.90 + 0.08 X^{2.5}$ |
| Tanque Classe “A”            | 0.70  | $Y = 0.54 + 0.86 X$       |
| Torntwaite                   | 0.58  | $Y = 1.08 + 0.35 X^{1.5}$ |
| Blaney & Criddle             | 0.53  | $Y = 0.04 X^2 - 3.2$      |

## CONCLUSÕES

- Através da análise de regressão constatou-se que o método de Kimberley - Penman apresentou melhor coeficiente de determinação  $r^2 = 0,98$  uma vez que os parâmetros de entrada são

praticamente os mesmos do método padrão. Os métodos que menos se correlacionaram foram os de Thornthwaite e Blaney & Criddle com  $r^2 = 0,58$  e  $0,53$  respectivamente.

- Através do comportamento anual, conclui-se que os métodos Jensen - Haise e Kimberley - Penman superestimam o método padrão, enquanto que Linacre e Makkink subestimaram o padrão para todos os meses do ano.

- Sugere-se que este trabalho seja repetido, para a mesma localidade, porém com valores da ETo acumulados em pentadas, décadas ou até mensais, a fim de que se obtenha com maior precisão quais os métodos que melhor estimam a lâmina de irrigação, de acordo com o turno de rega desejado.

### LITERATURA CITADA

- ALVES SOBRINHO, T *et al.* **Estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) para Dourados e Ponta Porã, Mato Grosso do Sul.** XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. II CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Bauru - SP, 1996. Resumos... Bauru, 22 a 26 de julho 1996.p. 533.
- AMORIM, M.C.de; SEDIYAMA,G.S.; SOBRINHO,J.E & RODRIGUES,L.N. Avaliação da evapotranspiração de referência estimada por diferentes modelos de coeficiente de tanque classe "A" para o município de Teresina, PI. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável.** In: CONGRESSO DE AGROMETEOROLOGIA, X, Piracicaba-SP,1997. Anais... Piracicaba-SP. SBA. 13 a 18 de julho 1997.p.683 a 685.
- BARROS, A . H. C *et al.* **Comparação entre métodos de estimativa de evapotranspiração para a localidade de Caruaru - PE.** XXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. II CONGRESSO LATINO AMERICANO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. Bauru - SP, 1996. Resumos... Bauru, 22 a 26 de julho 1996.p. 369.
- MAKKINK, G. F. **Ekzamerio de la formula de Penman.** Neth. J. Agric. Soc. 5: 290-305, 1957.
- PENMAN, H. L. **Natural evapotranspiration from open water, bare soil and grass.** Proc. Roy. Soc. of London,Ser. A. 193: 120-45 ,1948.
- SAAD, J. C. C. **Análise dos principais métodos para estimativa da evapotranspiração.** Anais do VIII CONGRESSO NACIONAL de irrigação e drenagem. Florianópolis-SC.1988.p.1999-1021.
- SEDIYAMA, G. C. **A versão / proposta para o conceito de evapotranspiração de referência.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, IX, Campina Grande, PB, julho-1995. p.13.

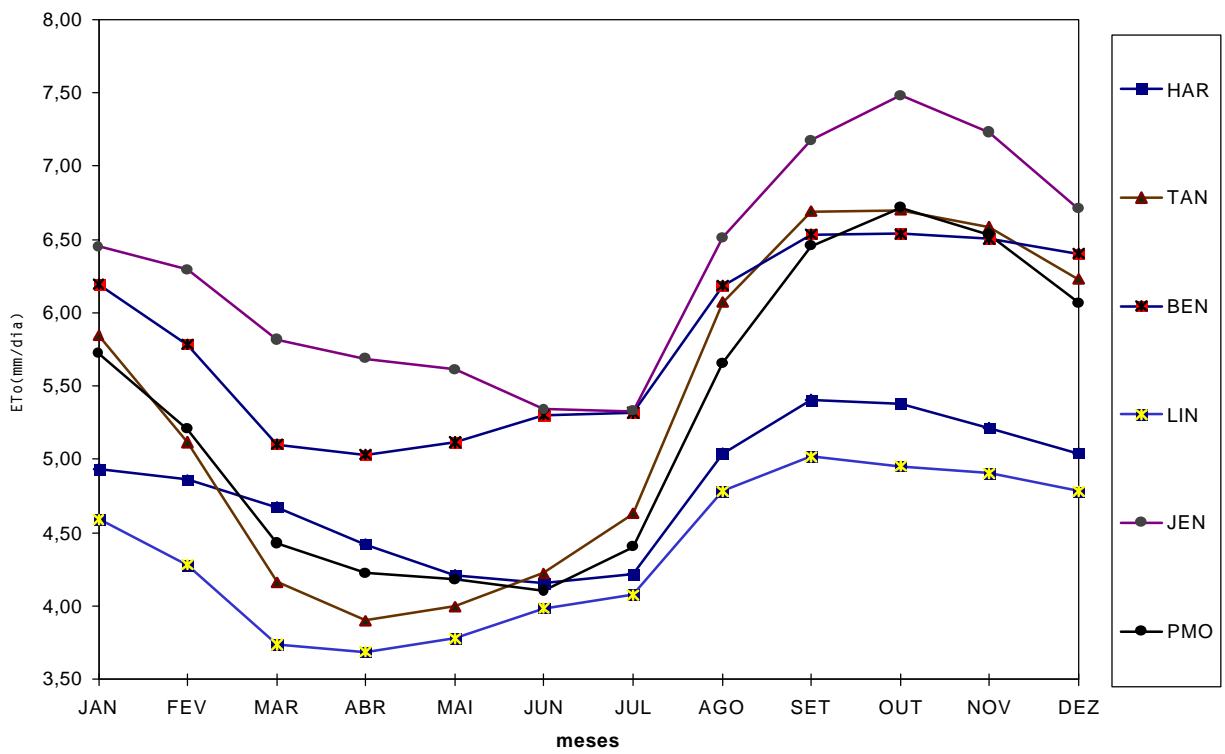


Figura 01 - Variação anual da Evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos para 27 anos de observação.

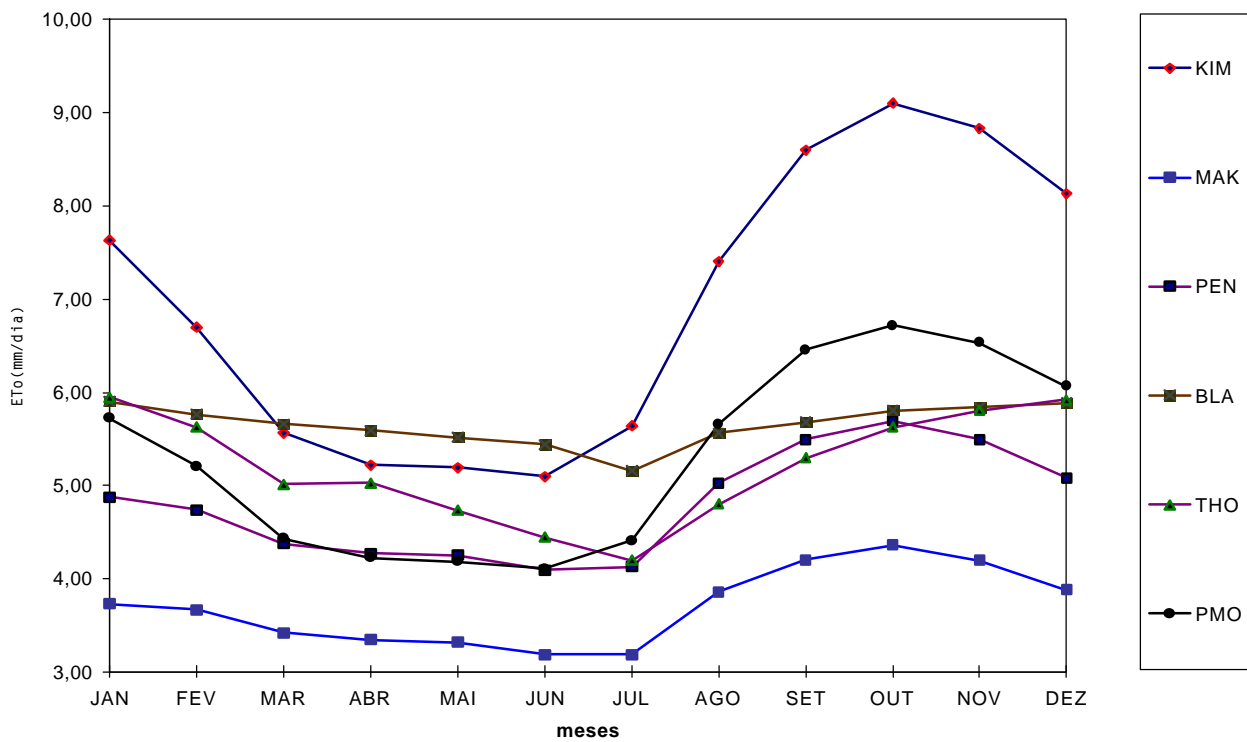


Figura 02 - Variação anual da Evapotranspiração de referência estimada por diferentes métodos para 27 anos de observação.