

# PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS MENORES QUE 5°C NA REGIÃO DO MÉDIO PARANAPANEMA (1)

ANGÉLICA PRELA-PANTANO (2\*); GLAUCO DE SOUZA ROLIM (2);  
MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO (2)

## RESUMO

Na Região do Médio Paranapanema do Estado de São Paulo ocorrem temperaturas mínimas abaixo de 5 °C (Tmin5) de maio a setembro, com pouca ocorrência de geadas. Este estudo objetivou determinar a probabilidade de ocorrência de Tmin5 que podem ser prejudiciais à agricultura. Para tanto, foram analisados dados de 13 anos de temperaturas mínimas diárias observadas em sete localidades que fazem parte do Médio Paranapanema (Assis, Manduri, Tarumã, Palmital, Santa Cruz do Rio Pardo, Quatá e Pedrinhas Paulista). A análise dos dados foi feita em duas etapas: primeiramente, foi aplicado um teste para determinar se a série de dados existente seria suficiente para o estudo proposto e, a seguir, foram feitos ajustes à distribuição de probabilidade gaussiana, considerando-se 10 classes de temperatura (entre 4 e 5 °C, 3 e 4 °C, 2 e 3 °C, 1 e 2 °C, 0 e 1 °C, -1 e 0 °C, -2 e -1 °C, -3 e -2 °C, -4 e -3 °C, -5 e -4 °C), separadamente, de maio a setembro. Com essas análises, foi possível concluir que para a Região do Médio Paranapanema uma série de seis anos é suficiente para análise de Tmin. Os ajustes da distribuição gaussiana para as diferentes faixas de temperatura nos diferentes meses foram todos significativos a 5%. Observou-se que houve diferenças de Tmin5 entre as localidades e entre os meses analisados, visto que em junho e julho existe maior probabilidade de ocorrência de Tmin5 e localidades como Manduri, Assis e Tarumã podem ser consideradas as mais frias da Região. Observou-se também que a maior probabilidade de ocorrência de temperatura mínima foi aproximadamente de 7% para toda a Região do Médio Paranapanema, em julho, para temperaturas entre 0 e 5 °C.

**Palavras-chave:** modelagem, riscos climáticos.

## ABSTRACT

### PROBABILITY OF OCCURRENCE OF MINIMUM TEMPERATURE LESS THAN 5°C AT MEDIO PARANAPANEMA REGION IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

The Medium Paranapanema region is an agricultural area in the State of São Paulo where minimum air temperatures below 5 °C (Tmin5) occur during May to September, with little occurrence of frosts. This study aimed to determine the probability of occurrence of Tmin5 which could be harmful to agriculture. Therefore, data of 13 years were analyzed at 7 locations (Assis, Manduri, Tarumã, Palmital, Santa Cruz do Rio Pardo, Quatá and Pedrinhas Paulista) of the region. The analysis of the data was made in two steps; firstly a test was applied to determine if the available data series would be sufficient for the proposed study; and after that, the data were fitted to the Gaussian probability distribution with 10 temperature classes (between 4 and 5 °C, 3 and 4 °C, 2 and 3 °C, 1 and 2 °C, 0 and 1 °C, -1 and 0 °C, -2 and -1 °C, -3 and -2 °C, -4 and -3 °C, -5 and -4 °C). It was possible to determine that historical series with six years of data were enough for study of the Tmin5. The Gaussian distribution fitting for different temperature ranges and for months were all significant at 5%. Differences of Tmin5 were observed among places and the analyzed months. It was observed that in June and July there is higher probability of Tmin5 in Manduri, Assis and Tarumã. These localities can be considered the coldest of the region. It was also observed that the highest probability for minimum air temperature was about 7% for the whole Medium Paranapanema region in July for temperatures between 0 and 5 °C.

**Key words:** modeling, climatic risk.

---

(1) Recebido para publicação em 22 de maio de 2007 e aceito em 5 de setembro de 2008.

(2) Centro de Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônomo (IAC), Caixa Postal 28, 13020-970 Campinas (SP). E-mail: angelica@iac.sp.gov.br (\*) Autora correspondente; rolim@iac.sp.gov.br; mcamargo@iac.sp.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

O conhecimento da probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial, temperatura, umidade relativa do ar, evapotranspiração, velocidade e direção do vento, radiação solar e de algumas adversidades como granizo, vendavais, geada entre outros, é importante como instrumento na tomada de decisões relacionadas às atividades agropecuárias. Em relação à agricultura, a temperatura mínima do ar é de fundamental importância para o zoneamento agrícola. Muitas espécies sofrem danos decorrentes de baixa temperatura. Por exemplo, em estudo feito por CAMARGO (1977) foi verificado que a temperatura mínima limite para o desenvolvimento do café é de 2,5 °C em abrigo meteorológico.

Nas localidades da Região do Médio Paranapanema, os climas são classificados, segundo Köppen, como Cwa, Am, Cfa e Af (ROLIM et al., 2007) e a temperatura média anual situa-se em torno de 20,6°C (PRADO et al., 2003).

O Médio Paranapanema é uma região agrícola, onde durante o período de inverno são cultivadas espécies adaptadas a condições mais amenas de temperatura com maior ou menor resistência a baixas temperaturas. Entre as espécies anuais cultivadas na região, pode-se citar trigo, aveia e o milho safrinha, além de espécies perenes, como café e seringueira e espécies semiperenes, como cana-de-açúcar e banana.

Não é comum nessa região a ocorrência freqüente de geadas, no entanto, existem registros de temperaturas mínimas em abrigo meteorológico abaixo de 5 °C, com certa frequência durante os últimos 12 anos (CHIAGRO, 2007).

Vários estudos têm sido realizados para estimativa de temperatura mínima em diferentes localidades. SUGAHARA (2000) utilizou regressão múltipla para estimativa de temperatura mínima para o município de Bauru (SP), com a técnica de "stepwise". PINTO et al. (1972) estabeleceram equações de estimativa das temperaturas médias mensais e anuais, em função da altitude e latitude, e alcançaram elevados coeficientes de correlação, o que evidenciou boa precisão nas estimativas para o Estado de São Paulo, porém de acordo com PEDRO JÚNIOR et al. (1991) a utilização de equações de estimativa não são aplicáveis às áreas litorâneas e ao Vale do Ribeira de Iguape, no Estado de São Paulo, devido à pouca variação na altitude.

A variação de altitude e ocorrência de ventos deve ser levada em consideração na ocorrência de geadas. A proteção de plantas contra efeitos letais causados pela geada é problema considerável na agricultura, principalmente para lavouras de alta

rentabilidade, como as frutíferas de clima tropical, o cafeeiro e a seringueira (ROSENBERG et al., 1983).

Os modelos probabilísticos matemáticos permitem estudos mais consistentes de séries históricas de dados (CAMARGO et al., 1993). O modelo de "distribuição de valores extremos" foi aquele com o melhor ajustamento entre as frequências observadas e estimadas, considerando dados de temperaturas mínimas absolutas para diversas regiões do Estado de São Paulo, independentemente dos meses e subperíodos analisados (ASTOLPHO et al., 2004). No entanto, quando ASTOLPHO et al. (2005) utilizaram o modelo de distribuição Normal, verificou-se bom ajuste entre as frequências estimadas e as observadas de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais, levando em consideração três níveis térmicos e diversas localidades dentro do Estado de São Paulo. As variações de probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais, segundo esses autores, foram devidas principalmente às variações de altitude, seguidas pela latitude e longitude.

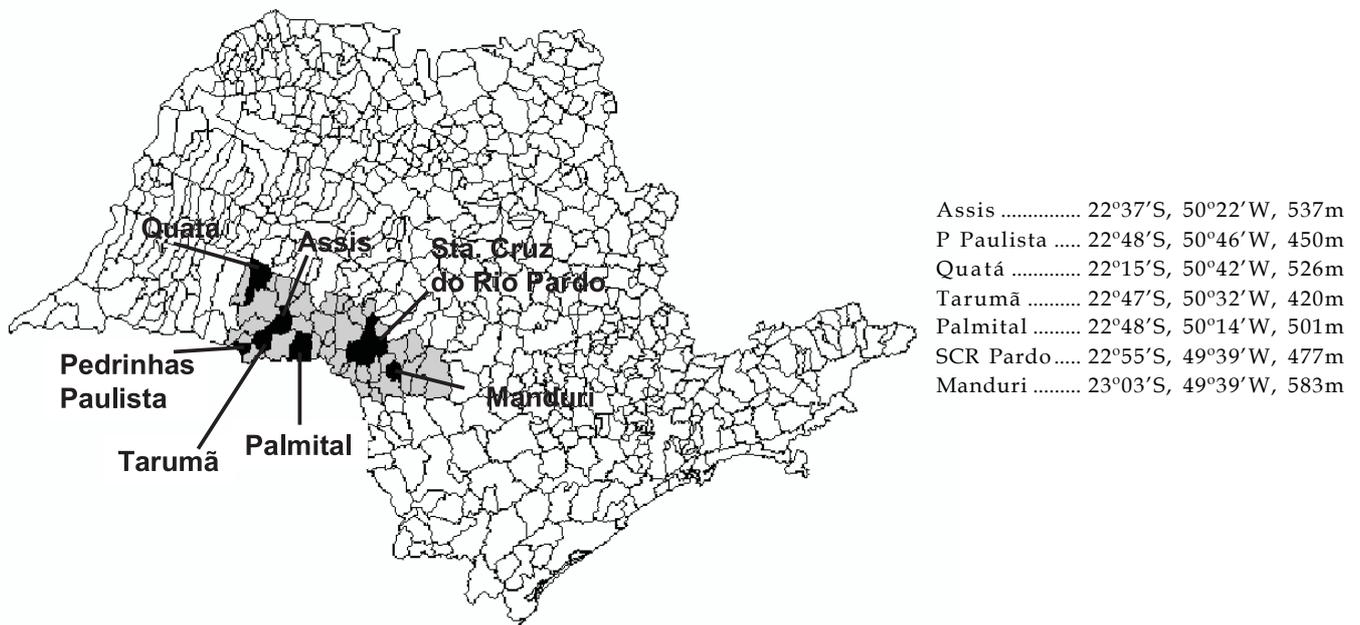
Um estudo feito por CAMARGO e ALFONSI (1995), revelou que em Assis a probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 2 °C está em torno de 74%, no nível anual, e para níveis mensais, a maior probabilidade foi verificada em junho e julho com 36%.

O estudo de ocorrência de temperaturas mínimas na região do Médio Paranapanema esbarra no fato de a série de dados ser pequena, pois a maior parte dos postos meteorológicos tem aproximadamente 13 anos, com início em 1993. No entanto, a análise de uma série histórica de dados climatológicos, ainda que relativamente pequena, pode fornecer subsídios para análises associadas à produtividade agrícola de uma determinada região (PRELA et al., 2005).

Por essa razão os estudos climáticos referentes a essa região são escassos. Assim, o objetivo deste trabalho foi determinar as probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas menores que 5 °C na escala mensal, maio a setembro, em sete localidades representativas da região do Médio Paranapanema.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram analisados dados diários de temperatura mínima absoluta do ar, registradas em estação meteorológica, nos meses mais frios do ano (maio a setembro), no período compreendido entre 1993 a 2005 em sete locais da Região do Médio Paranapanema (Figura 1).



**Figura 1.** Representação da área de estudo, no Médio Paranapanema, com os municípios utilizados, e respectivas coordenadas geográficas (Latitude, Longitude e Altitude) onde se localizam as estações meteorológicas.

Esses dados foram coletados diariamente em locais que fazem parte da Rede de Estações Meteorológicas gerenciadas pela Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios (APTA) e pelo Instituto Agrônomo (IAC), de Campinas.

Pelo fato de a série de dados disponível para a região ser reduzida (13 anos) foi feita, primeiramente, a verificação do número de anos mínimos necessários para o estudo. Para tanto, foi utilizado o método proposto por CAMARGO e HUBBARD (1999), que consiste no teste de correlação da temperatura mínima do ar entre duas localidades de uma mesma região. Este é um teste iterativo no qual é variado o número de anos correlacionados e o período analisado, visando à estabilização do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A partir da estabilização do  $R^2$ , define-se o número de anos mínimos necessários para o estudo do elemento meteorológico de interesse.

Após a definição da possibilidade da utilização da série existente, foram contabilizadas as freqüências de ocorrência de dias com temperaturas abaixo de 5 °C levando-se em consideração 10 classes de temperatura (entre 4 e 5 °C, 3 e 4 °C, 2 e 3 °C, 1 e 2 °C, 0 e 1 °C, -1 e 0 °C, -2 e -1 °C, -3 e -2 °C, -4 e -3 °C, -5 e -4 °C). Foi possível, então, estabelecer as diferenças entre localidades no Médio Paranapanema em relação à temperatura mínima.

Foi calculada a probabilidade de ocorrência de temperatura mínima mensal, com os dados de todas as localidades conjuntamente, para os meses mais frios do ano (maio, junho, julho, agosto e setembro).

Por fim, buscou-se o ajuste dos dados destas freqüências mensais observadas pela equação de distribuição de probabilidade gaussiana, que corresponde à generalização da distribuição normal.

$$y = y_0 + \frac{A}{w\sqrt{\pi/2}} e^{-\frac{2(x-x_c)^2}{w^2}}, \text{ para qualquer } A > 0.1$$

sendo "A" o valor da área definida pela função, "y<sub>0</sub>" o deslocamento (esquerda ou direita), "x<sub>c</sub>", o valor máximo de x e "w", o coeficiente de dispersão dos dados.

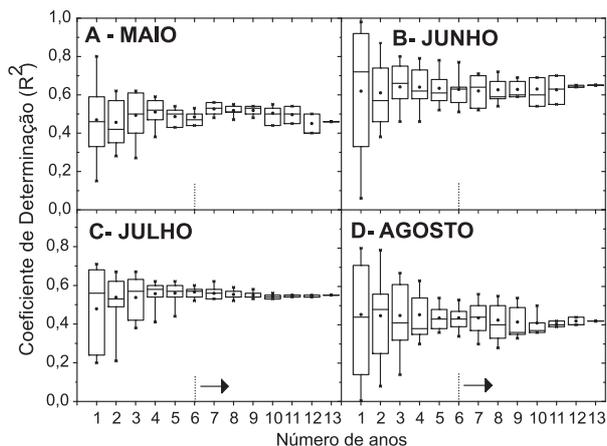
Para este ajuste foi utilizado o método iterativo não-linear de Levenberg-Marquardt (MARQUARDT, 1963) para otimização da soma de quadrados. Este método, segundo WILLIAM et al. (1996) é muito robusto, pois, minimiza o problema de divergência das respostas devido aos valores iniciais pouco adequados.

Ao ajustar uma distribuição de probabilidade a um conjunto de dados, assume-se a hipótese de que a distribuição pode representar adequadamente o conjunto de informações.

Para verificar o ajuste entre as freqüências de temperaturas mínimas absolutas observadas e estimadas adotou-se o teste de  $c^2$ , considerando a significância de 5% ( $P < 0,05$ ),  $R^2$  e KS (Kolmogorov e Smirnov).

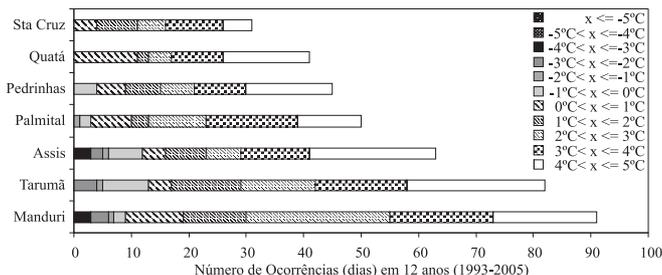
### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela determinação da possibilidade da utilização da série de dados existente (13 anos) para a Região do Médio Paranapanema, observou-se que o número de dados diários de temperatura mínima do ar existente é suficiente, pois houve a estabilização do índice de determinação ao redor de 6 a 7 anos, para os meses considerados, de maio a agosto (Figura 2). Esse cálculo não foi realizado para setembro, pois a possibilidade de ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 2 °C é muito baixa. Esses resultados foram semelhantes aos observados por CAMARGO e HUBBARD (1999), que estudaram a variabilidade espacial e temporal de elementos meteorológicos na região de Nebraska (EUA).



**Figura 2.** Teste de estabilização dos dados do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) proveniente das relações das temperaturas mínimas do ar entre Assis e Palmital, na Região do Médio Paranapanema (SP), de 1993 a 2005.

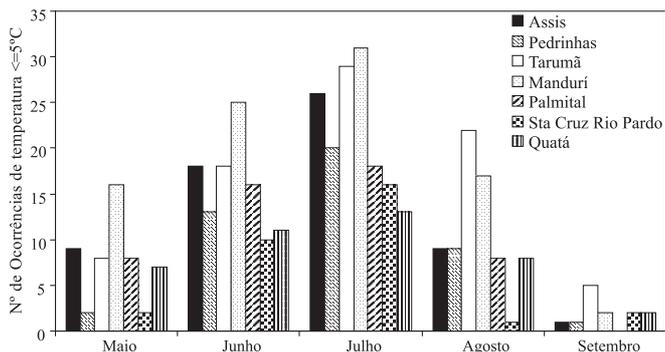
Observa-se, na figura 3, que houve diferenças entre os locais analisados em relação à freqüência de  $T_{min5}$  no período de 1993 a 2005. Por exemplo, a localidade de Manduri foi onde houve maior número de ocorrências de  $T_{min5}$  (91), seguida de Tarumã (82) e Assis (63). Santa Cruz do Rio Pardo foi onde houve a menor ocorrência de  $T_{min5}$ , cerca de 31 ocorrências em 12 anos de avaliação. Um dos fatores para explicação destas diferenças está relacionado à altitude das localidades, pois existe uma diferença de 106 metros de altitude entre Manduri e Santa Cruz do Rio Pardo.



**Figura 3.** Número de ocorrência de temperaturas mínimas diárias abaixo de 5 °C, em sete localidades da Região do Médio Paranapanema (SP), no período de 1993 a 2005.

Apesar de em Manduri haver maior ocorrência de  $T_{min5}$ , observaram-se nove dias somente com valores de temperaturas mínimas abaixo de zero, diferentemente de Tarumã.

Junho e julho (Figura 4) foram os meses de maior ocorrência de  $T_{min5}$ , e em Manduri, seguida por Tarumã e Assis, houve maior número de dias com  $T_{min5}$ . Percebe-se também que o número de ocorrências de  $T_{min5}$  em setembro é menor que em maio em todas as localidades.



**Figura 4.** Número de ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 5 °C, na Região do Médio Paranapanema (SP), no período de 1993 a 2005.

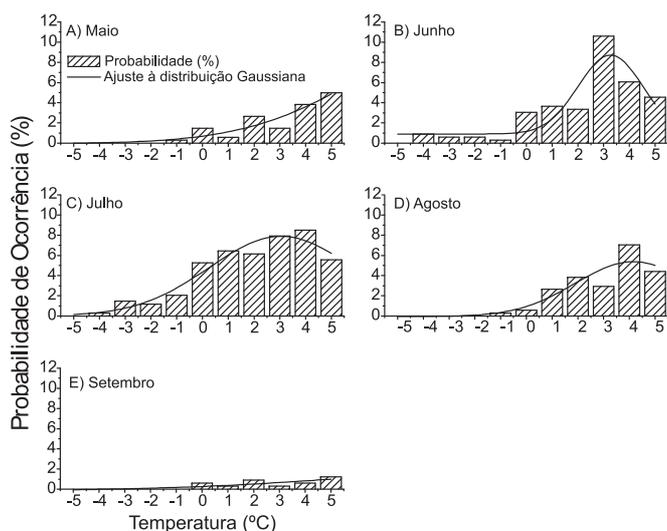
As freqüências de  $T_{min5}$  de todas as localidades foram agrupadas em relação aos meses mais frios do ano (Figura 5), para avaliação em nível regional.

Dessa forma, foi possível determinar que em toda a região do Médio Paranapanema, a freqüência de valores de temperatura mínima entre 0 °C e 2 °C foi sempre inferior a 2 °C e 5 °C. Verificou-se também que em julho as freqüências de temperatura mínima entre -2 ° e 2 °C foram maiores.

Constatou-se ainda que, em julho (Figura 5.C), a probabilidade média de ocorrência de temperaturas mínimas entre 0 °C e 5 °C foi, em média, 7% para o Médio Paranapanema. Dessa forma, culturas agrícolas, como hortaliças e cafezais, sensíveis a estas faixas de temperatura devem ser protegidas para não ocorrer danos, por meio de técnicas adequadas como irrigação, cobertura morta e outras.

**Tabela 1.** Valores dos parâmetros ajustados da distribuição Gaussiana (A,  $y_0$ ,  $x_c$ , w) e testes de  $\chi^2$ ,  $R^2$  e KS, em relação a valores observados de probabilidade de ocorrência de valores de temperatura mínima menores que 5 °C

| Mês      | Parâmetros |          |        |        | $\chi^2$ | $R^2$ | KS   |
|----------|------------|----------|--------|--------|----------|-------|------|
|          | A          | $y_0$    | $x_c$  | w      |          |       |      |
| Maio     | 158,77     | -0,04561 | 11,842 | 9,8871 | 0,43105  | 0,899 | 0,77 |
| Junho    | 24,477     | 0,90546  | 3,2648 | 2,4941 | 2,59002  | 0,823 | 0,71 |
| Julho    | 55,080     | 0,02391  | 3,0508 | 5,5892 | 0,73097  | 0,948 | 0,67 |
| Agosto   | 30,583     | -0,04872 | 4,1523 | 4,4994 | 1,01107  | 0,875 | 0,82 |
| Setembro | 34,177     | -0,126   | 12,319 | 13,755 | 0,07756  | 0,699 | 0,35 |



**Figura 5.** Probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas menores que 5 °C em sete localidades do Médio Paranapanema (Assis, Pedrinhas Paulista, Quatá, Tarumã, Palmital, Santa Cruz do Rio Pardo e Manduri) em maio, junho, julho, agosto e setembro. (Observação: os valores nos eixos das ordenadas correspondem aos limites superiores de temperatura em cada grupo).

Por fim, utilizou-se a distribuição gaussiana para o ajuste dos valores observados na Tabela 1.

A distribuição foi bastante flexível para a estimativa das probabilidades de ocorrência de  $T_{min5}$ , sendo todas foram significativas a 5% ( $P < 0,05$ ) para o teste de  $\chi^2$ , além dos testes  $R^2$  e KS. Na figura 5, estão representadas também as curvas relativas ao ajuste das distribuições da distribuição gaussiana, nos diferentes meses e nas diferentes faixas de temperatura mínima.

#### 4. CONCLUSÕES

1. A série de 13 anos de dados foi suficiente para o estudo das temperaturas mínimas na Região do Médio Paranapanema, uma vez que o período mínimo exigido foi em torno de 6 anos.

2. O ajuste da distribuição gaussiana para determinação da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas entre 4 e 5 °C, 3 e 4 °C, 2 e 3 °C, 1 e 2 °C, 0 e 1 °C, -1 e 0 °C, -2 e -1 °C, -3 e -2 °C, -4 e -3 °C, -5 e -4 °C e menor que -5 °C foi significativo a 5% ( $P < 0,05$ ) para maio, junho, julho, agosto e setembro.

3. Em junho e julho se concentra o maior número de ocorrência de temperaturas mínimas abaixo de 5°C, sendo Manduri, Tarumã e Assis as localidades com maior ocorrência de dias com temperaturas abaixo de 5 °C.

4. A maior probabilidade de ocorrência de temperatura mínima verificada foi, em média, 7% para toda a Região do Médio Paranapanema, em julho.

#### REFERÊNCIAS

ASTOLPHO, F.; CAMARGO, M.B.P.; BARDIN, L. Probabilidades mensais e anuais de ocorrência de temperaturas mínimas do ar adversas à agricultura na região de Campinas (SP), de 1891 a 2000. *Bragantia*, Campinas, v.63, n.1, p.141-147, 2004.

ASTOLPHO, F.; CAMARGO, M.B. P.; PEDRO JUNIOR, M. J.; PALLONE FILHO, W. P.; BARDIN, L. Regionalização de riscos de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais para o Estado de São Paulo com base em modelos probabilísticos e digitais de elevação. *Bragantia*, Campinas, v.64, n.1, p.139-148, 2005.

CAMARGO, A.P. Frequências das geadas excepcionais como as de julho de 1975. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE CLIMATOLOGIA NO HEMISFÉRIO SUL, 1977, Campinas. *Resumos...* Campinas: Instituto Agrônomo, 1977. p.1-3.

CAMARGO, M.B.P.; ALFONSI, R.R. Frequência de geadas no Estado de São Paulo. In: SEMINÁRIO SOBRE A CULTURA DO MILHO "SAFRINHA", 3., 1995, Campinas. *Resumos...* Campinas: Instituto Agrônomo, 1995. v.1, p. 39-43.

CAMARGO, M. ; HUBBARD, K.G. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semi-arid areas of the United States High Plains. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.93, p.141-148. 1999.

CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JUNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.52, n.2, p.161-168, 1993.

CIAGRO - CENTRO INTEGRADO DE INFORMAÇÕES AGROMETEOROLÓGICAS Disponível em: [www.ciiagro.sp.gov.br](http://www.ciiagro.sp.gov.br). Acesso em 15 de fevereiro de 2007.

MARQUARDT, D. An Algorithm for Least-Squares Estimation of Nonlinear Parameters. **SIAM- Journal on Applied Mathematics**, New York, v.11, p.431-441, 1963.

PEDRO JÚNIOR, M.J.; MELLO, M.H.D.A.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R.; SENTELHAS, P.C. **Estimativa das temperaturas médias mensais das máximas e das mínimas para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, 1991. 11p. (Boletim Técnico, 142)

PINTO, H.S.; ORTOLANI, A.A.; ALFONSI, R.R. **Estimativa das temperaturas médias mensais do Estado de São Paulo em função de altitude e latitude**. São Paulo: Instituto de Geografia, USP, 1972. 20 p. (Caderno de Ciências da Terra, 23)

PRADO, H.; MENK, J.R.F.; TREMOCOLDI, W.A.; JORGE, J.A. **Levantamento pedológico detalhado do Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios do Médio Paranapanema, Assis (SP)**. Campinas: Instituto Agronômico, 2003. 19 p. (Série Pesquisa Apta. Boletim Científico, 07)

PRELA, A. P.; PEREIRA, A.R.; CARAMORI, P.H. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña na produtividade de trigo no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Piracicaba, v13, n.3, p. 326 -337, 2005.

PRESS, W.H. FLANNERY, B.P.; TEUKOLSKY, S.A.; VETTELING, W.T. Numerical Recipes in Fortran 77. In: THE ART of Scientific Computing. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 678-680.

ROLIM, G.S.; CAMARGO, M.B.P.; LANIA, D.G.; MORAES, J.F.L. Classificação Climática de Köppen e de Thornthwaite e sua aplicabilidade na determinação de Zonas Agroclimáticas para o Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p.711-720, 2007.

ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 495 p.

SUGAHARA, S. Uma Experiência com Modelo Estatístico (Mos) para a Previsão da Temperatura Mínima diária do ar. **Brazilian Journal of Geophysics**, Rio de Janeiro, vol. 18, n. 1, p. 3-11, 2000.

WILLIAN, R.E.; BLACKER, B.; DICKINSON, M.; DIXON, W. VAND.; FERGUSON, H. C.; FRUCHTER, A.S.; GIAVALISCO, M.; GILLILAND, R.L.; HEYER, I.; KATSANIS, R.; LEVAY, Z.; LUCAS, R.A.; MCELROY, D.B.; PETRO, L.; POSTMAN, M.; ADORF, H.M.; HOOK, R. The hubble deep field: observations, data reduction, and galaxy photometry. **Astronomical Journal**, v.112, p.1335, 1996.