

# AGROMETEOROLOGIA

## PROBABILIDADES MENSAS E ANUAIS DE OCORRÊNCIA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS DO AR ADVERSAS À AGRICULTURA NA REGIÃO DE CAMPINAS (SP), DE 1891 A 2000<sup>(1)</sup>

FABIANE ASTOLPHO<sup>(2,5)</sup>; MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO<sup>(3,6)</sup>; LUDMILA BARDIN<sup>(4,7)</sup>

### RESUMO

O uso de modelos probabilísticos introduz precisão matemática, permitindo estudos mais consistentes de séries históricas de dados. Utilizou-se o modelo “distribuição de valores extremos” (Gumbel) para estimar a probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais (maio, junho, julho, agosto e setembro) e anuais para Campinas (SP), relativa à série histórica de 1891-2000 (110 anos). O objetivo deste trabalho foi estimar as probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas mensais e anuais adversas à agricultura em diferentes subperíodos (1891-1910, 1911-1940, 1941-1970 e 1971-2000) da série histórica. O modelo distribuição de valores extremos apresentou bom ajuste entre as frequências estimadas e as observadas, independentemente dos meses e subperíodos analisados. Os valores de temperaturas mínimas absolutas médias aumentaram progressivamente de 1891 até 2000, enquanto os valores de probabilidade anual estimados apresentaram grande variabilidade entre os subperíodos históricos analisados. O subperíodo mais recente (1971/2000) apresentou probabilidade (24,2%) muito próxima de 1911/1940 (24,5%) e do período integral de 1891 a 2000 (24,4%). O subperíodo de 1891/1910 apresentou as maiores probabilidades (34,2%) e o de 1941/1970, as menores (18,4%).

**Palavras-chave:** Risco de geadas, probabilidade, temperaturas mínimas absolutas, distribuição de valores extremos.

### ABSTRACT

#### MONTHLY AND YEARLY FROST RISK FOR THE REGION OF CAMPINAS, SÃO PAULO STATE, BRAZIL FROM 1891 TO 2000

Appropriated probabilistic models can give mathematical precision in historical climatological series studies. The “extreme value distribution” model (Gumbel) was used to estimate the probabilities of monthly (May, June, July, August, September) and yearly frost occurrence for Campinas region in the State of São Paulo, Brazil, based on a 110 years (1891 to 2000) historical series of absolute minimum air temperature. The main objective was to estimate and compare the monthly and yearly frost risk during different studied periods of years (1891-1910, 1911-1940, 1941-1970 e 1971-2000). The “extreme value

---

<sup>(1)</sup> Recebido para publicação em 25 de junho de 2003 e aceito em 4 de fevereiro de 2004.

<sup>(2)</sup> Aluna do Curso de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, área de concentração Tecnologia da Produção Agrícola, do Instituto Agrônômico (IAC).

<sup>(3)</sup> Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e Biofísica, Instituto Agrônômico (IAC), 13001-970 Campinas, SP. E-mail: mcamargo@iac.sp.gov.br.

<sup>(4)</sup> Aluna do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental da PUC-Campinas. Estagiária do Centro de Ecofisiologia e Biofísica, IAC.

<sup>(5)</sup> Bolsista da Fundação Mapfre Estudos.

<sup>(6)</sup> Com bolsa de produtividade científica do CNPq.

<sup>(7)</sup> Bolsista do PNP&D/Embrapa-Café.

distribution” model showed good agreement between observed and estimated probabilities for all the monthly and yearly periods. Despite the increase of the average values of the absolute minimum air temperature since 1891 to 2000, the estimated monthly and yearly probabilities showed a great variability during the different periods of years studied. The most recent period, 1971/2000, showed yearly probability (24.2%) similar to the 1911/1940 period (24.5%), and to the entire series analyzed of 1891/2000 (24.4%). The yearly highest probability of low temperature occurrence (34.2%) was during the 1891/1910 period, while the yearly lowest probability (18.4%) was during the 1941/1970.

**Key words:** Frost risk, probabilities, minimum air temperature, Gumbel distribution.

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura no Estado de São Paulo é importante fonte de divisas e a maior parte dos cultivos localiza-se em região tropical, entre 20 e 23° de latitude sul, com altitudes entre 500 e 1.200 m. Essa condição favorece a ocorrência de eventuais geadas severas, tornando a agricultura uma atividade de risco, com significativo prejuízo à economia do Estado.

A determinação do risco de geadas é de grande aplicabilidade na orientação de agricultores, extensionistas e órgãos governamentais para subsidiar tomadas de decisão e o planejamento agrícola. Uma das informações importantes para o planejamento é o risco de ocorrência de geadas mensal e anual, expresso na forma de “porcentagem de risco” ou “probabilidade de ocorrência”.

As determinações da frequência com que ocorrem as geadas no Estado de São Paulo, contudo, esbarram no fato de as séries de dados de temperatura mínima do ar e de relva serem pequenas e incompletas na maioria das estações meteorológicas. Vários autores têm sugerido a utilização de um valor de temperatura mínima de abrigo que represente a ocorrência de geadas na relva (BOOTSMA, 1976; CAMARGO, 1977; ARRUDA et al., 1981; SOARES e DIAS, 1986; GRODZKI ET AL., 1996).

O clima tropical do Estado de São Paulo sofre alterações moderadas no curso do ano, alternando períodos quentes e frios, úmidos e secos. Em certos anos, ocorre substancial intensificação nessas variações, com a ocorrência de geadas severas, especialmente de junho a agosto. Admite-se que fenômenos relacionados a oscilações sul (ENOS), El Niño e La Niña, provocam alterações anômalas no padrão de temperatura do ar durante o inverno na Região Sudeste do Brasil, incluindo o Estado de São Paulo. CAMARGO et al. (2002) relacionaram a presença dos fenômenos El Niño e La Niña com a ocorrência de geadas na cafeicultura paulista, adotando como base a

série histórica de dados de temperaturas mínimas absolutas anuais de Campinas (SP), durante 112 anos (1890 a 2001), não encontrando associação entre a ocorrência de geadas severas e os fenômenos El Niño ou La Niña.

Dois tipos de geadas ocorrem no Estado de São Paulo: 1) as geadas advectivas - com menor frequência, devido à passagem de massas de ar frio e seco, associadas a ventos fortes de Sul e Sudeste que resfriam intensamente as plantas; são localizadas e podem ocorrer a qualquer hora do dia podendo causar grandes prejuízos para as lavouras atingidas (GARCIA DE PEDRAZA e GARCIA VEJA, 1991); 2) as de radiação - ocorrem com maior frequência, logo após a passagem de intensa frente fria, sob condições de céu limpo e ausência de ventos, e são de alcance regional. Nessa situação há acentuada perda de calor das superfícies expostas, por radiação, e da camada de ar mais próxima ao solo, que se resfria por condução (CARAMORI e MANETTI, 1993).

A baixa condutividade térmica do ar aliada à maior densidade do ar frio provocam a formação de forte gradiente de temperatura próximo à superfície, denominado “inversão térmica” (VALLI, 1972). Durante noites típicas de ocorrência de geadas de radiação, é comum observarem-se diferenças de temperatura de 5 °C entre a superfície do solo e o abrigo termométrico, instalado a 1,5 m de altura (BOOTSMA, 1980).

Em estudo de ocorrência de temperaturas baixas verificadas em Campinas (SP), no período de 1890 a 1975, CAMARGO (1977) considerou temperaturas de abrigo meteorológico abaixo de 2,5 °C como representativas de ocorrência de geadas prejudiciais à cafeicultura. Posteriormente, alguns trabalhos realizados com base em modelos estatísticos, determinaram as probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas obtidas em abrigo meteorológico, inferiores a 2 e 1 °C (ARRUDA et al., 1981; CAMARGO et al., 1993; PINTO et al., 2000).

A adoção dos limites de 2 e 1 °C fundamenta-se na constatação que, em noites de geada, a diferença média entre as temperaturas mínimas do ar observadas em abrigo meteorológico e as mínimas de relva, é de 5,6 °C (FAGNANI e PINTO, 1981). Assim, quando a temperatura mínima do ar é de 2 ou 1 °C, tem-se na folha exposta temperaturas de -3,6 e -4,6°C respectivamente, próximas do valor encontrado por CAMARGO e SALATI (1967) e PINTO et al. (1978) como limite para o aparecimento de danos em cafeeiros.

Quanto maior a queda de temperatura abaixo desse limite, mais graves e extensos serão os danos às plantas.

A utilização de modelos probabilísticos introduz precisão matemática, permitindo estudos mais consistentes de séries históricas de dados. CAMARGO et al. (1993) testaram vários modelos probabilísticos e definiram que o modelo de “distribuição de valores extremos” foi o que apresentou o melhor ajustamento entre as frequências observadas e estimadas, considerando dados de temperaturas mínimas absolutas para diversas regiões do Estado de São Paulo.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de estimar e analisar as probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais adversas à agricultura em diferentes subperíodos da série histórica de 110 anos (1891/2000), em Campinas, SP, utilizando o modelo de distribuição de valores extremos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Consideraram-se séries de dados de temperaturas mínimas absolutas mensais (maio, junho, julho, agosto e setembro) e anual, observadas no posto meteorológico do Instituto Agrônômico (IAC), de Campinas (SP), em latitude 22° 54' S, longitude 47° 05' W, altitude 674 m, no período de 110 anos, de 1891 a 2000, divididos nos seguintes subperíodos: 1891/1910 (20 anos), 1911/1940 (30 anos), 1941/1970 (30 anos) e 1971/2000 (30 anos).

Para a estimativa das probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas utilizou-se o modelo de distribuição de valores extremos (distribuição de Gumbel). Esse modelo possui bom ajuste para séries de dados não “normalmente” distribuídos (CAMARGO et al., 1993).

Sua função de densidade de probabilidade de distribuição para valores extremos mínimos segundo THOM (1966), é dada por:

$$f(x) = \left[ \frac{1}{\beta} \right] \cdot \exp \left[ - \left( \frac{x - \alpha}{\beta} \right) - \exp \left( - \frac{x - \alpha}{\beta} \right) \right]$$

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição foram estimados pelo método “Lieblein” de máxima verossimilhança, conforme procedimento proposto por THOM (1966). O procedimento de ajuste de Lieblein envolve a manutenção cuidadosa da ordem cronológica original dos dados da série climatológica, e a divisão da série em subgrupos considerando pesos diferenciados. Os parâmetros assim determinados são estimadores de máxima verossimilhança.

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 frequências de temperaturas mínimas absolutas observadas e estimadas adotou-se o teste de Kolmogorov-Smirnov (KS), considerando a significância de 5% ( $P < 0,05$ ).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo distribuição de valores extremos possibilitou bom ajuste entre as frequências estimadas e observadas de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas abaixo de qualquer nível térmico. Pelo teste de Kolmogorov-Smirnov constatou-se bom ajuste entre as frequências acumuladas observadas e as estimadas pela distribuição para todos os períodos analisados, tanto mensais (maio, junho, julho, agosto e setembro) quanto anual, revelando que a distribuição de valores extremos representou adequadamente o conjunto de dados.

A tabela 1 apresenta os valores estimados dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de valores extremos e os valores médios (TMAM) e de desvio-padrão (DP) das temperaturas mínimas absolutas dos períodos mensais e anuais analisados. Observa-se que as temperaturas mínimas absolutas médias mensais e anual (Figura 1) dos subperíodos mais recentes, de 1971/2000 e 1941/1970, apresentaram os dados médios mais elevados, especialmente o subperíodo 1971/2000, enquanto o de 1891 a 1910 apresentou os menores valores mensais e anuais.

**Tabela 1.** Valores estimados dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de valores extremos e valores médios (TMAM) e desvio-padrão (DP) das temperaturas mínimas absolutas em maio, junho, julho, agosto e setembro e anual para os subperíodos 1891-1910, 1911-1940, 1941-1970, 1971-2000 e 1891-2000

Mês	Parâmetros	Subperíodos				
		1891-1910	1911-1940	1941-1970	1971-2000	1891-2000
Maio	$\alpha$	5,379	6,928	7,369	7,620	6,929
	$\beta$	2,522	2,534	1,998	2,347	2,314
	TMAM (°C)	6,8	8,3	8,5	8,9	8,2
	DP (°C)	2,52	2,70	2,18	3,04	2,71
Junho	$\alpha$	4,515	5,255	5,454	5,033	5,041
	$\beta$	2,281	2,341	2,497	3,297	2,753
	TMAM (°C)	5,7	6,5	6,8	6,7	6,5
	DP (°C)	2,57	2,88	2,69	3,20	2,89
Julho	$\alpha$	3,835	4,069	4,414	4,772	4,295
	$\beta$	2,342	2,070	2,995	3,562	2,779
	TMAM (°C)	5,2	5,2	6,0	6,6	5,8
	DP (°C)	2,37	2,35	2,90	3,42	2,83
Agosto	$\alpha$	4,505	5,382	6,476	6,686	5,876
	$\beta$	2,273	1,674	2,440	2,776	2,292
	TMAM (°C)	5,6	6,3	7,8	8,1	7,1
	DP (°C)	2,66	1,93	2,57	2,68	2,71
Setembro	$\alpha$	7,464	7,118	7,775	10,019	8,101
	$\beta$	2,215	2,585	2,429	1,485	2,136
	TMAM (°C)	8,73	8,42	9,06	10,80	9,29
	DP (°C)	2,07	2,51	2,61	1,61	2,42
Anual	$\alpha$	2,100	2,617	3,039	2,891	2,707
	$\beta$	1,415	1,818	1,977	2,786	2,047
	TMAM (°C)	2,9	3,6	4,2	4,4	3,8
	DP (°C)	1,69	1,88	2,23	2,78	2,25

Observa-se nítida evolução anual, com valores de 2,9 °C (1891/1910), 3,6 °C (1911/1940), 4,2 °C (1941/1970) e 4,4 °C (1971/2000). Esses valores médios mostram que houve tendência marcante no aumento das médias de temperaturas mínimas absolutas desde 1891 até 2000 significando, em princípio, menores ocorrências de geadas nas últimas décadas.

Quando se analisa os valores de desvio-padrão dessas temperaturas mínimas absolutas anuais, observa-se também marcante aumento (Figura 2) nos subperíodos analisados, ou seja, 1,69 °C (1891-1910), 1,88 °C (1911-1940), 2,23 °C (1941-

1970) e 2,78 °C (1971-2000). Esse aumento nos valores do desvio-padrão atesta que a variabilidade entre as temperaturas mínimas absolutas anuais foi maior nos últimos subperíodos.

A estimativa das probabilidades de ocorrência das temperaturas mínimas absolutas para os mesmos subperíodos, utilizando o modelo de distribuição de valores extremos, (Figura 3), mostra que o subperíodo 1971/2000 apresentou maiores probabilidades na faixa de -1,0 a 1,5 °C. A partir de 3 °C as probabilidades se invertem em relação aos demais períodos, indicando menores probabilidades de ocorrência.

O subperíodo de 1891/1910 apresentou as maiores probabilidades a partir de 1,5 °C. As probabilidades mensais (maio, junho, julho, agosto e setembro) e anual, considerando temperatura de 2,0 °C, como indicativa de início de danos de geada para muitas culturas, como por exemplo, café e cana-de-açúcar, podem ser observadas na Figura 4.

As maiores probabilidades mensais foram obtidas no subperíodo 1971/2000 nos meses de junho e julho e pelo subperíodo de 1891/1910 nos

meses de maio e agosto. Pela análise anual, independentemente do mês, o subperíodo que apresentou as maiores probabilidades de ocorrência de geada foi o de 1891/1910 com 34,2%, constatando-se que a cada 10 anos ocorreu risco de geadas em pelo menos três anos. O subperíodo de 1941/1970 apresentou a menor probabilidade (18,4%). Os demais subperíodos, 1911/1940 (24,5%), 1971/2000 (24,3%) e o período total de 1891/2000 (24,4%), apresentaram probabilidades muito próximas.

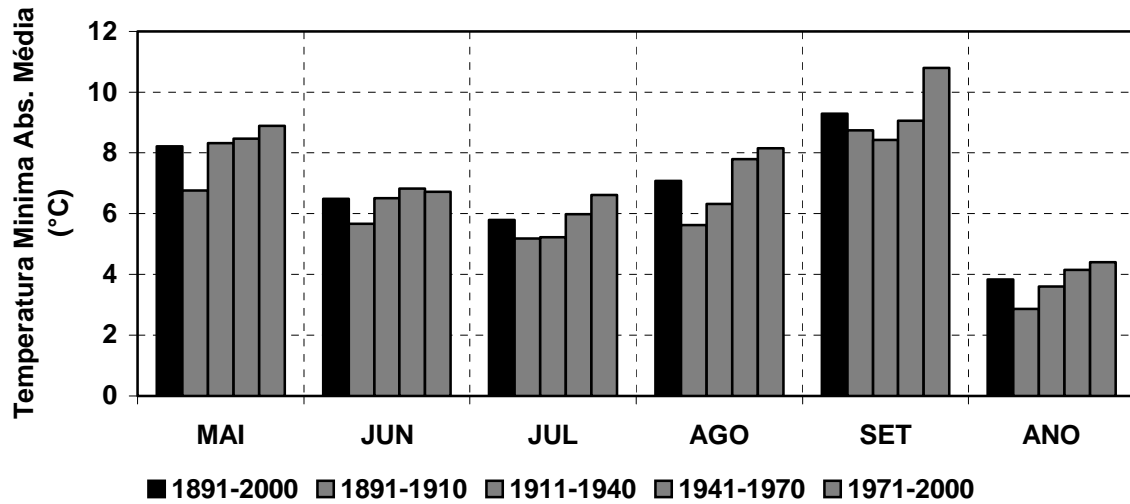


Figura 1. Temperaturas mínimas absolutas mensais e anual médias de Campinas (SP), em diferentes subperíodos de anos entre 1891 e 2000.

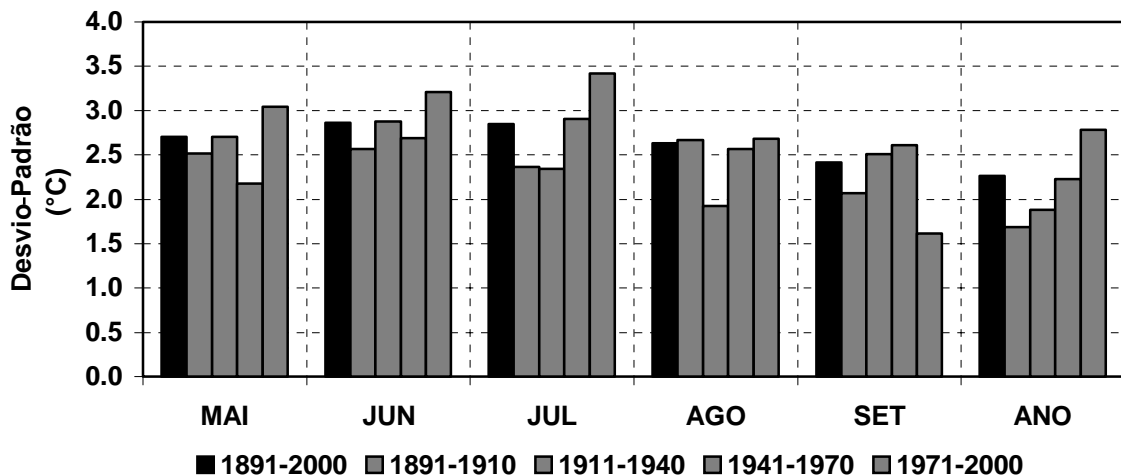


Figura 2. Valores de desvio-padrão (°C) das temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais médias de Campinas (SP), relativos a diferentes subperíodos de anos entre 1891 e 2000.

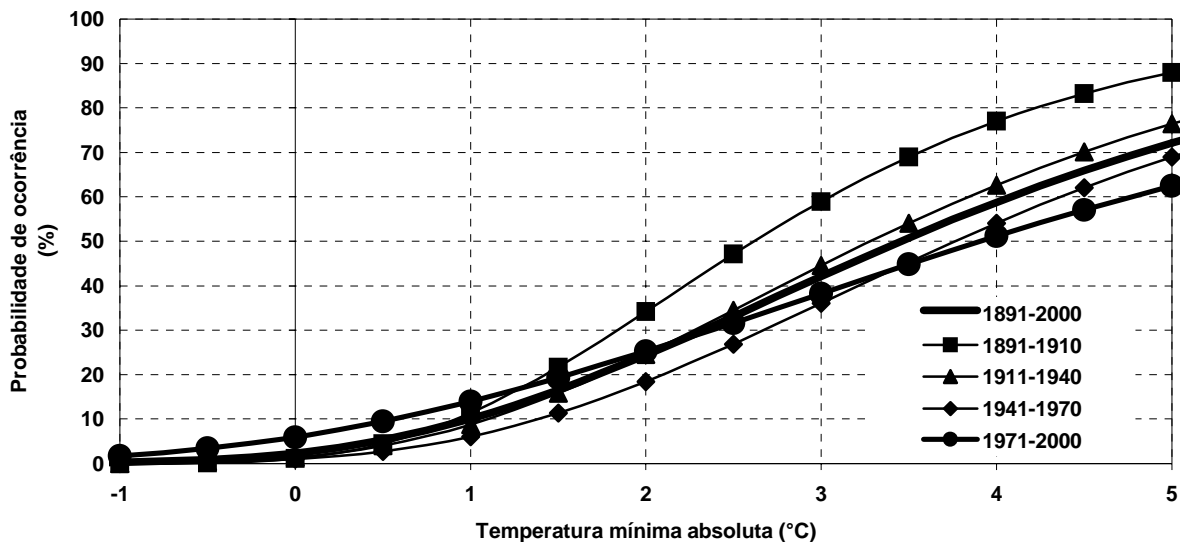


Figura 3. Probabilidades estimadas de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas anuais entre -1,0 e 5,0 °C para diferentes subperíodos entre 1891 e 2000 para Campinas (SP).

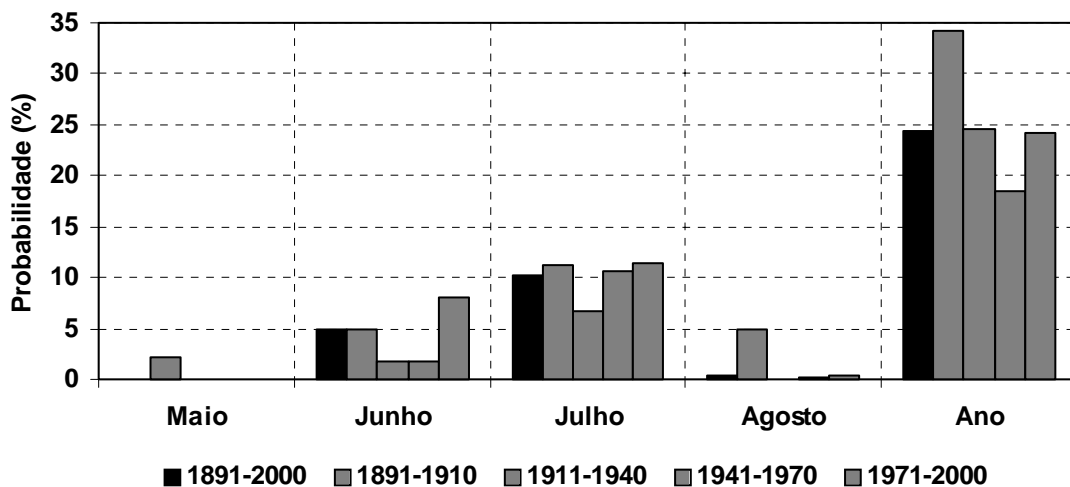


Figura 4. Probabilidades estimadas de ocorrência de temperatura mínima absoluta de 2,0 °C mensais e anual, durante diferentes subperíodos entre 1891 e 2000 para Campinas (SP).

#### 4. CONCLUSÕES

1. O modelo distribuição de valores extremos apresentou bom ajuste entre as frequências estimadas e as observadas, independentemente dos meses e subperíodos analisados.

2. Os valores de temperaturas mínimas absolutas médias aumentaram progressivamente de 1891 até 2000, enquanto os valores de probabilidade

anual estimados apresentaram uma grande variabilidade entre os subperíodos históricos analisados.

3. O subperíodo mais recente (1971/2000) apresentou probabilidade (24,2%) muito próxima do subperíodo de 1911/1940 (24,5%) e do período integral de 1891 a 2000 (24,4%). O subperíodo de 1891/1910 apresentou as maiores probabilidades (34,2%) e o de 1941/1970, as menores (18,4%).

## REFERÊNCIAS

- ARRUDA, H.V.; PINTO, H.S.; PENTEADO, R.S. Modelos probabilísticos para a interpretação da ocorrência de temperaturas mínimas na região de Campinas-SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1981, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981. p.143-145.
- BOOTSMA, A. Estimating grass minimum temperatures from screen minimum values and other climatological parameters. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.16, n.1, p.103-113, 1976.
- BOOTSMA, A. **Frost risk survey of Prince Edward Island**. Ottawa: Department of Agriculture and Forestry, Canada, 1980. 35p.
- 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 Agrônômico, 1977. p.1-3.
- CAMARGO, M.B.P.; PEDRO JÚNIOR, M.J.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; BRUNINI, O. Probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anual no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.52, n.2, p.161-168, 1993.
- CAMARGO, M.B.P.; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, A.P.; MELLO, M.H.A.; ASTOLPHO, F. Geadas severas na região cafeeira de Campinas-SP de 1891-2001 e sua relação com o fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.10, n.1, p.123-127, 2002.
- CAMARGO, M.B.P.; SALATI, E.. Determinación de la temperatura letal para hojas de café en noches de heladas. **Café**, Lima, v.8, n.3, p.12-15, 1967.
- CARAMORI, P.H.; MANETTI FILHO, J. **Proteção dos cafeeiros contra geadas**. Londrina: IAPAR, 1993. 28p. (Circular nº79).
- FAGNANI, M.A.; PINTO, H.S. Simulação de temperaturas de folhas de cafeeiros em noites sujeitas a geadas de irradiação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1981, Pelotas. **Anais**. Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1981. p.139-142.
- GARCIA DE PEDRAZA, L.; GARCIA VEJA, J. **Las heladas de irradiacion em España**. Madrid: Ministério de Agricultura, Pesca y Alimentación. 1991. 20p. (Hojas Divulgadoras nº 1/91)
- GRODZKI, L.; CARAMORI, P. H.; BOOTSMA, A.; OLIVEIRA, D.DE; GOMES, J. Riscos de Ocorrência de geada no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, n.1, p. 93-99, 1996.
- PINTO, H.S.; CAMARGO, M.B.P.; NOBREGA, M.; ORTOLANI, A.A. Um sistema computacional para levantamento de prejuízos causados por geadas à cafeicultura do Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS 6., 1978, Ribeirão Preto. **Resumos Expandidos**. Ribeirão Preto: IBC-GERCA, 1978. p.145-147.
- PINTO, H.S.; ZULLO JUNIOR, J.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; CAMARGO, M.B.P.; CORAL, G.; BARBANO, M.T. Um modelo para estimativa de danos causados por geadas em cafezais. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos**. Poços de Caldas: Embrapa Café, 2000. p.120-122.
- SOARES, J.R.; DIAS, M.A.F.S. Probabilidade de ocorrência de alguns eventos meteorológicos Valores Extremos na cidade de São Paulo. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v.2, n.1, p.67-75, 1986.
- THOM, H.C.S. **Some methods of climatological analysis**. Geneva: World Meteorological Organization, 1966. 53p. (WMO, 199, Technical Note, 81).
- VALLI, V.J. **Princípios básicos relativos à ocorrência de geadas e sua prevenção**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Meteorologia, 1972. 22p.