

# ESTIMATIVAS DO RISCO DE GEADAS NO ESTADO DO PARANÁ

CLÓVIS A. SANSIGOLO

Eng. Agrônomo, Pesquisador. Titular, Divisão de Clima e Meio Ambiente, CPTEC, INPE, São José dos Campos – SP  
Fone: (12) 39456667, e-mail: [sansigol@cptec.inpe.br](mailto:sansigol@cptec.inpe.br)

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia  
02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju -SE

**RESUMO** – Distribuições de Gumbel foram ajustadas às séries de temperaturas mínimas anuais de 27 localidades no Estado do Paraná visando estimar o risco de geadas nas suas diversas regiões. A análise espacial de risco foi feita interpolando-se os parâmetros das distribuições pelo método de kriging. Foram identificados dois grupos homogêneos em relação à ocorrência de geadas, que estão associados à altitude e latitude das estações. A probabilidade média anual de ocorrência de temperaturas mínimas inferiores a 3<sup>0</sup>C, abaixo da qual se pode esperar geadas, é 97 % (no máximo 23 ocorrências por ano) para as estações do grupo 1, que se localizam no centro e Sul do Estado e 73 % (no máximo duas ocorrências por ano) para as estações do grupo 2, que se concentram no Norte.

PALAVRAS-CHAVE – risco de geadas, distribuições de Gumbel, Paraná.

## FROST RISK ESTIMATES IN THE PARANA STATE, BRAZIL

**ABSTRACT** - Gumbel distributions were fitted to annual minima temperatures series at 27 locations in the Parana State, Brazil, aiming at estimating the frost risk in their several regions. The spatial risk analysis was done by interpolating the distributions parameters using the kriging method. Two homogeneous groups in relation to frost occurrence were identified and are associated to the altitude and latitude of the stations. The average annual probability of minima temperatures lower than 3<sup>0</sup>C, below that frost can be expected, is 97% (23 occurrences per year at the most) for the group 1 stations, located in the Central and Southern part of the region, and 73% (2 occurrences per year at the most) for the group 2 stations, concentrated in the Northern part.

**KEYWORDS** - frost risk, Gumbel distributions, Parana – Brazil.

**INTRODUÇÃO** - Geadas são fenômenos meteorológicos freqüentes na região Sul do Brasil que causam prejuízos significativos na produção e comercialização de produtos agrícolas, na pecuária e na economia dos Estados. O conhecimento das distribuições de probabilidade das temperaturas mínimas do ar, que podem ser associadas à ocorrência de geadas, é de grande interesse prático, como subsídio à tomada de decisão e planejamento das diferentes atividades agropecuárias. No Estado do Paraná, as geadas mais freqüentes são as de radiação, que ocorrem regionalmente, nos meses de junho e julho, logo após a passagem de frentes frias e sob condições de céu claro e ausência de ventos. GRODZKI et alii (1996) analisando as ocorrências mensais de geadas em 8 localidades do Paraná, obtiveram maiores riscos nas regiões Centro-Sul e Sul, com até 13 casos por ano, em relação à Norte e Oeste, com menos de 2 casos por ano. Estudos relacionando as temperaturas mínimas do ar, medida a 1,5m de altura, com as da relva, a 0,05m, nos Estados de São Paulo (CAMARGO et alii, 1993), Paraná (GRODZKI et alii, 1996) mostram que valores abaixo de 3<sup>0</sup>C no abrigo, já podem levar à ocorrência de geadas. Distribuições de extremos do tipo I, ou de Gumbel, tem sido

ajustadas com sucesso às temperaturas mínimas absolutas de diversas localidades nos Estados do Rio Grande do Sul (ESTEFANEL et alii, 1978; OLIVEIRA et Alii, 1997) e São Paulo (CAMARGO et alii, 1993). O objetivo deste trabalho é avaliar o risco de geadas no Estado do Paraná, analisando a variabilidade espacial dos parâmetros de distribuições de Gumbel ajustadas às temperaturas mínimas absolutas de inverno e fazendo uma regionalização em função do risco de ocorrência e número médio de casos de geada esperados por ano.

**MATERIAL E MÉTODOS** - Foram utilizados os dados de temperatura mínima absoluta de 27 estações meteorológicas distribuídas pelo Estado do Paraná como mostrado na Figura 1.

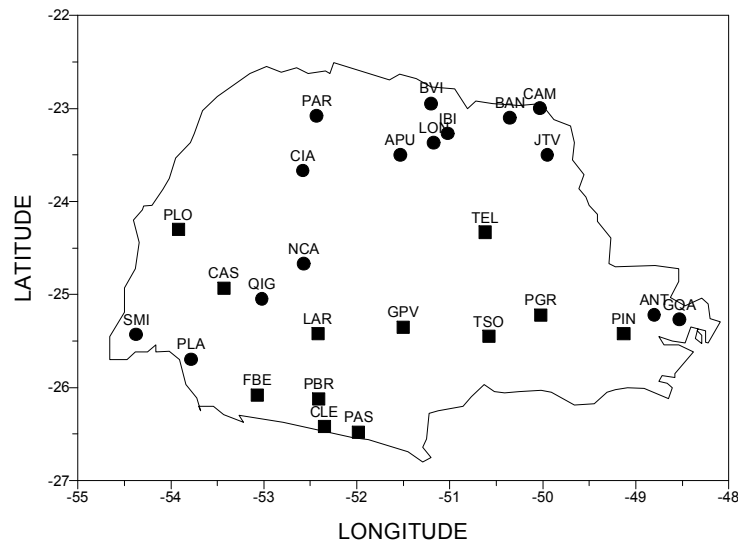


Figura 1. Localização das estações no Estado do Paraná e os 2 grupos homogêneos em relação aos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de Gumbel (■ Grupo Sudeste ● Grupo Norte).

Para cada uma das estações, identificadas na Tabela 1, foram construídas séries de mínimos anuais, selecionando-se as temperaturas mínimas absolutas do ar em cada ano, que normalmente ocorrem entre os meses de junho e julho. A distribuição de extremos escolhida foi a do tipo I, ou de Gumbel (GUMBEL, 1958) que tem como função de densidade de probabilidade acumulada  $P(x) = \exp[-\exp(-\alpha(x-\beta))]$ , na qual  $\alpha$  é o parâmetro de escala e  $\beta$  o de posição, que foram estimados pelo método da máxima verossimilhança (KITE, 1977). O ajuste das distribuições foi avaliado pelo teste KS a 90% de probabilidade. A análise espacial do risco de ocorrência de extremos foi feita interpolando-se os dois parâmetros da distribuição de Gumbel em pontos de grade, usando o método de kriging isotrópico. Além disso, as estações também foram agrupadas em função destes dois parâmetros, usando o método hierárquico aglomerativo de Ward, tendo como medida de similaridade a distância Euclidiana quadrática (SANSIGOLO & NERY, 2000).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO** – Os parâmetros alfa e beta da distribuição de Gumbel, estimados pelo método da máxima verossimilhança das amostras, para cada uma das 27 estações consideradas, encontram-se na Tabela 1. Bons ajustes foram obtidos em todos os casos. Os desvios máximos obtidos entre as distribuições teóricas e empíricas, métrica do teste KS, ficaram entre 0,10 e 0,15, bem abaixo dos valores críticos (0,24 para  $n=30$ ). A distribuição espacial dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de Gumbel, interpolados por kriging, é mostrada na figura 2. O parâmetro de escala  $\alpha$  variou de 0,37 em Apucarana, no

Norte do Estado, a 1 em São Miguel, no Sudoeste, e na maior parte da região situou-se entre 0,45 e 0,7. O parâmetro de posição  $\beta$  é positivo no Norte do Estado, com máximos no Nordeste e Leste, onde obteve-se um valor de 2,48 para Antonina, e negativo no Centro e Sul, com um mínimo de -4,79, obtido em Palmas. Uma das principais aplicações práticas da interpolação dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de Gumbel é que ela possibilita análises de extremos de temperatura mínima e/ou risco de geadas em locais onde não se dispõem de observações.

Tabela 1. Localização das estações meteorológicas no Estado do Paraná, período de observações, parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de Gumbel e temperaturas mínimas esperadas com 10 anos de período de retorno  $Tm_{10}$ .

LOCALIDADE	COD.	LAT.	LON.	ALT.	PER.	ALFA	BETA	$Tm_{10}$
		-	-	(m)	(19--)	-	-	(°C)
Antonina	ANT	-25 <sup>0</sup> 13'	-48 <sup>0</sup> 48'	60	78-95	0,669	2,483	1,2
Apucarana	APU	-23 <sup>0</sup> 30'	-51 <sup>0</sup> 32'	746	65-95	0,373	0,995	-1,2
Bandeirantes	BAN	-23 <sup>0</sup> 06'	-50 <sup>0</sup> 21'	440	76-95	0,436	1,545	-0,4
Bela Vista	BVI	-22 <sup>0</sup> 57'	-51 <sup>0</sup> 12'	600	73-95	0,431	2,038	0,1
Cambará	CAM	-23 <sup>0</sup> 00'	-50 <sup>0</sup> 02'	450	71-95	0,444	0,196	-1,7
Cascavel	CAS	-24 <sup>0</sup> 56'	-53 <sup>0</sup> 26'	760	73-95	0,586	-0,898	-2,3
Cianorte	CIA	-23 <sup>0</sup> 40'	-52 <sup>0</sup> 35'	530	72-95	0,457	1,629	-0,2
Clevelândia	CLE	-26 <sup>0</sup> 25'	-52 <sup>0</sup> 21'	930	73-95	0,689	-3,297	-4,5
Franc. Beltrão	FBE	-26 <sup>0</sup> 05'	-53 <sup>0</sup> 04'	650	73-95	0,627	-2,340	-3,7
Guarapuava	GPV	-25 <sup>0</sup> 21'	-51 <sup>0</sup> 30'	1020	76-95	0,569	-3,620	-5,1
Guarapuava	GQA	-25 <sup>0</sup> 16'	-48 <sup>0</sup> 32'	40	78-95	0,664	1,953	0,7
Ibiporã	IBI	-23 <sup>0</sup> 16'	-51 <sup>0</sup> 01'	484	73095	0,397	2,271	0,2
Joaquim Távora	JTV	-23 <sup>0</sup> 30'	-49 <sup>0</sup> 57'	512	72-95	0,381	-0,073	-2,3
Laranjeiras	LAR	-25 <sup>0</sup> 25'	-52 <sup>0</sup> 25'	880	74-95	0,784	-1,354	-2,4
Londrina	LON	-23 <sup>0</sup> 22'	-51 <sup>0</sup> 10'	585	76-95	0,558	1,438	-0,1
Nova Cantú	NCA	-24 <sup>0</sup> 40'	-52 <sup>0</sup> 34'	540	76-95	0,767	-0,180	-1,3
Palmas	PAS	-26 <sup>0</sup> 29'	-51 <sup>0</sup> 59'	1100	79-95	0,713	-4,790	-6,0
Palotina	PLO	-24 <sup>0</sup> 18'	-53 <sup>0</sup> 55'	310	73-95	0,557	-1,963	-3,5
Paranavaí	PAR	-23 <sup>0</sup> 05'	-52 <sup>0</sup> 26'	480	75-95	0,435	1,289	-0,6
Pato Branco	PBR	-26 <sup>0</sup> 07'	-52 <sup>0</sup> 41'	700	80-95	0,846	-1,922	-2,9
Pinhais	PIN	-25 <sup>0</sup> 25'	-49 <sup>0</sup> 08'	930	70-95	0,575	-2,631	-4,1
Planalto	PLA	-25 <sup>0</sup> 42'	-53 <sup>0</sup> 47'	400	75-95	0,525	-0,413	-2,0
Ponta Grossa	PGR	-25 <sup>0</sup> 13'	-50 <sup>0</sup> 01'	880	54-95	0,552	-2,820	-4,3
Sete Quedas	QIG	-25 <sup>0</sup> 31'	-53 <sup>0</sup> 01'	513	73-95	0,410	-0,463	-2,5
São Miguel	SMI	-25 <sup>0</sup> 26'	-50 <sup>0</sup> 22'	260	83-95	1,010	-0,432	-0,8
Teixeira Soares	TSO	-25 <sup>0</sup> 27'	-50 <sup>0</sup> 35'	893	66-95	0,621	-2,669	-4,0
Telemaco Borba	TEL	-24 <sup>0</sup> 20'	-50 <sup>0</sup> 37'	768	77-95	0,538	-2,058	-3,6

Definem-se pelo dendrograma de agrupamento das estações, mostrado na Figura 3, duas regiões homogêneas em relação à ocorrência de extremos de temperatura mínima, uma ao Norte de -24<sup>0</sup> de latitude (grupo 2, com  $\bar{\alpha} = 0,53$  e  $\bar{\beta} = 0,83$ ), com maiores valores esperados e outra no Sudeste (grupo 1, com  $\bar{\alpha} = 0,64$  e  $\bar{\beta} = -2,53$ ), com menores, devido à elevada topografia. Nesta solução de 2 grupos, obtida pelo critério da máxima inércia interclasses, existem 5 estações do grupo 2 abaixo de -24<sup>0</sup> de latitude, devido principalmente à menor altitude (3 no Sudoeste do Estado: NCA, PLA e QIG e 2 no Sudeste, próximo ao Litoral: ANT e GQA). A estação de Palotina tem todas as características geográficas do

grupo 2, mas foi incluída no grupo 1, devido à influência de fatores locais, pois está instalada numa área não representativa (baixada).

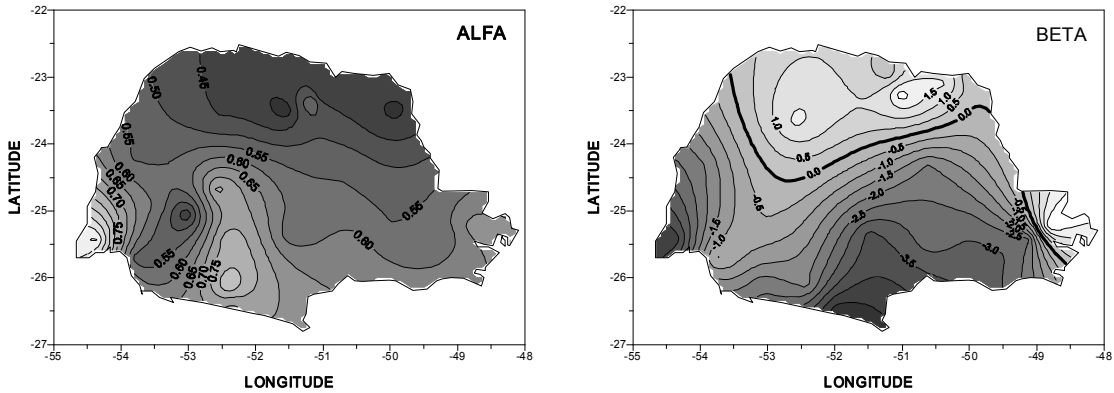


Figura 2. Distribuição espacial dos parâmetros de escala ( $\alpha$ ) e de posição ( $\beta$ ) da distribuição de Gumbel no Estado do Paraná.

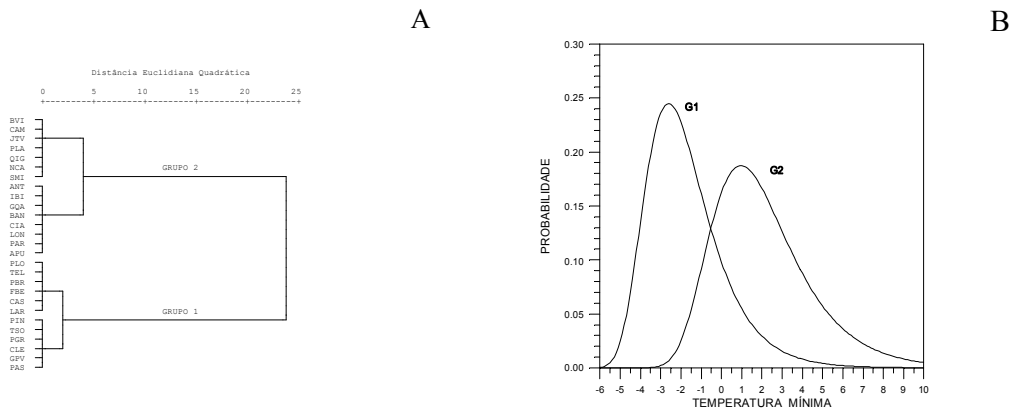


Figura 3. Dendrograma de agrupamento das estações em relação aos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  da distribuição de Gumbel (A) e funções de densidade de probabilidade (B) para os grupos 1 (  $\bar{\alpha} = 0,64$  e  $\bar{\beta} = - 2,53$  ) e 2 (  $\bar{\alpha} = 0,53$  e  $\bar{\beta} = 0,83$  ).

As funções de densidades de probabilidade da distribuição de Gumbel com os parâmetros médios dos grupos  $p(x; \bar{\alpha}, \bar{\beta})$  são mostradas na Figura 3. Verifica-se que os 2 grupos são bem distintos principalmente em relação ao parâmetro de posição  $\beta$ . As probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas anuais menores ou iguais a 3°C, limite abaixo do qual se pode esperar geadas no Inverno, é em média 97% para as estações do grupo 1 e 73% para as do grupo 2. Se os eventos forem considerados temporalmente independentes, o número de ocorrências de geadas por ano ( $z$ ) no nível de probabilidade desejado ( $r$ ) pode ser estimado por meio de  $P(x)^z = r$ . O número médio de ocorrências por ano ( $r = 0,5$ ) é 22,7 ( $0,97^{22,7}$ ) no caso das estações do grupo 1 e 2,2 no caso do grupo 2 ( $0,73^{2,2}$ ). Estes valores, principalmente do grupo 1, são bem superiores aos encontrados por GRODZKI el alii (1996), pois supõem que estas distribuições de probabilidade sejam válidas para o ano todo, e na verdade elas são restritas para o período de inverno. Portanto, estas ocorrências seriam, em média, as máximas esperadas. A utilidade prática de distribuições teóricas de probabilidade é inquestionável quando se dispõem de séries temporais curtas, mas também é vantajoso no caso de séries longas, pela síntese e suavização que proporciona, que facilitam a interpretação dos resultados e interpolações visando análise regional. Para uma melhor definição temporal, distribuições de Gumbel poderiam ser ajustadas à extremos mensais. Além disso, as

interpolações espaciais poderiam ser melhoradas usando co-kriging (correlação cruzada dos parâmetros com a altitude) anisotrópico (variabilidade meridional é muito maior que a zonal )

**CONCLUSÕES** - Distribuições de Gumbel se ajustaram bem às temperaturas mínimas absolutas de inverno no Paraná viabilizando extrapolações confiáveis no caso de séries temporais curtas. A interpolação dos parâmetros distribuições (Kriging) possibilita avaliações de extremos de temperatura mínima e/ou risco de geadas em locais onde não se dispõem de observações. Dois grupos homogêneos em relação aos dois parâmetros da distribuição foram definidos, e estão relacionados à altitude e latitude das estações. Altas probabilidades de ocorrência de geadas, em média 97% de chance, foram obtidas para as estações no Sudeste do Estado (no máximo 23 ocorrências por ano) e 73 % de chance para as estações no Norte do Estado ( no máximo 2 ocorrências por ano).

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS –**

- CAMARGO, M. B. P. , PEDRO JR, M. J. , ALFONSI, R. R. Probabilidades de ocorrência de temperaturas mínimas absolutas mensais e anuais no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, vol. 52, n. 2, p. 161-168, 1993.
- ESTEFANEL, V. , BURIOL, G. A. , SACCOL, A. V. Variabilidade e probabilidade de temperaturas mínimas absolutas do ar no Rio Grande do Sul. **Revista do Centro de Ciências Rurais**, Santa Maria, vol. 8, n. 4, p. 363-384, 1978.
- GRODZKI, L. , CARAMORI, P. H. , BOOTSMA, A. Riscos de ocorrência de geadas no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, vol. 4, n.1, p. 93-99, 1996.
- GUMBEL, E. J. **Statistics of Extremes**. Columbia University Press, New York, NY. 375p., 1958.
- KITE, G. W. **Frequency and Risk Analysis in Hydrology**. Water Resouces Publications, Fort Collins, CO. 224 p., 1977.
- OLIVEIRA, H. T. , BERLATO, M. A. , FONTANA, D. C. Probabilidade de ocorrência de geada no Estado do Rio Grande do Sul. In : X CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Piracicaba. **Anais ...** Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p. 77-79. 1997.
- SANSIGOLO, C. A. ; NERY, J. T. Distribuições de Extremos de Temperatura Mínima no Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, vol. 8, n. 2, p.247-253, 2000.