

Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à radiação solar global no Estado do Rio Grande do Sul

Alberto Cargnelutti Filho⁽¹⁾, Ronaldo Matzenauer⁽¹⁾ e Júlio Kuhn da Trindade⁽²⁾

⁽¹⁾Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária, Rua Gonçalves Dias, 570, Bairro Menino Deus, CEP 90130-060 Porto Alegre, RS. E-mail: alberto-cargnelutti@fepagro.rs.gov.br, ronaldo-matzenauer@fepagro.rs.gov.br ⁽²⁾Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, Bairro Agronomia, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS. E-mail: catrindade@ig.com.br

Resumo – O objetivo deste trabalho foi verificar o ajuste das séries de dados de radiação solar global média decendial, de 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, gumbel e weibull. Aplicou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, nas 792 séries de dados (22 municípios x 36 decêndios) de radiação solar global média decendial, para verificar o ajuste dos dados às distribuições normal, log-normal, gama, gumbel e weibull, totalizando 3.960 testes. Os dados decendiais de radiação solar global média se ajustam às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, gumbel e weibull, e apresentam melhor ajuste à função de distribuição de probabilidade normal.

Termos para indexação: modelagem, redução de riscos.

Adjustments of probability distribution functions to global solar radiation in Rio Grande do Sul State

Abstract – The objective of this work was to verify the adjustment of data series for average global solar radiation to the normal, log-normal, gamma, gumbel and weibull probability distribution functions. Data were collected from 22 cities in Rio Grande do Sul State, Brazil. The Kolmogorov-Smirnov test was applied in the 792 series of data (22 localities x 36 periods of ten days) of average global solar radiation to verify the adjustment of the data to the normal, log-normal, gamma, gumbel and weibull probability distribution functions, totalizing 3,960 tests. The data of average global solar radiation adjust to the normal, log-normal, gamma, gumbel and weibull probability distribution functions, and present a better adjustment to the normal probability function.

Index terms: modelling, risk reduction.

Introdução

O conhecimento do comportamento da precipitação pluvial, temperatura e umidade relativa do ar, evaporação, direção e velocidade do vento, radiação solar global, ocorrência de orvalho, nevoeiro, granizo, geada e neve, entre outros, é um importante instrumento na tomada de decisões relacionadas às atividades agropecuárias. Entre essas variáveis climáticas, a radiação solar global, definida como o total de energia emitida pelo sol, que incide sobre a superfície terrestre, com comprimento de onda compreendido entre 150 e 4.000 nm (Rosenberg, 1974; Slater, 1980), é fundamental, principalmente em relação às atividades agropecuárias.

A simples visualização dos dados amostrais de uma variável em um histograma de frequência é insuficiente para inferir, entre as diversas funções de distribuição de

probabilidade conhecidas, a que melhor se ajusta aos dados em estudo. Portanto, faz-se necessário o uso de testes de aderência para verificar se a distribuição de probabilidade dos dados de uma variável em análise pode ser estudada por uma função de distribuição de probabilidade conhecida.

Existem diversas funções de distribuições de probabilidade para variáveis aleatórias discretas e contínuas. Entre as que se ajustam a dados discretos estão a bernoulli, binomial, binomial negativa, hipergeométrica, geométrica e poisson. Já as distribuições uniforme, normal, log-normal, gama, valores extremos ou gumbel, weibull, exponencial, beta, qui-quadrado, t de Student, F de Snedecor, entre outras, podem ser ajustadas a série de dados amostrais de variáveis aleatórias contínuas. Estudos de ajustes de função de distribuição de probabilidade ou estimativas de probabilidade usando funções

de distribuição de probabilidade teóricas em relação a variáveis climáticas, como precipitação pluvial (Berlato, 1987; Assad & Castro, 1991; Assis, 1991, 1993; Castro, 1996; Ávila et al., 1996; Botelho & Moraes, 1999; Catalunha et al., 2002), temperatura do ar (Mota et al., 1999; Buriol et al., 2000b, 2000c) e radiação solar (Buriol et al., 2000a, 2001) têm sido desenvolvidos, enfatizando os benefícios no planejamento de atividades que minimizem riscos climáticos.

Testes de aderência, como o qui-quadrado, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors, Shapiro-Wilk, Cramer-von Mises (Campos, 1983; Assis et al., 1996; Morettin & Bussab, 2004), servem para comparar as probabilidades empíricas de uma variável com as probabilidades teóricas estimadas pela função de distribuição em teste, verificando se os valores da amostra podem razoavelmente ser considerados como provenientes de uma população com aquela distribuição teórica. Nos testes de aderência, a hipótese nula (H_0) admite que a distribuição seja a especificada (normal, log-normal, gama e outras), com os seus parâmetros estimados com base nos dados amostrais (Assis et al., 1996; Catalunha et al., 2002). Existem diferenças entre os testes de aderência, quanto à probabilidade de rejeitar H_0 , quando efetivamente H_0 é falsa ($1 - \beta$). Os testes de qui-quadrado e de Kolmogorov-Smirnov são amplamente utilizados (Assis et al., 1996), sendo o primeiro, normalmente, mais eficaz que o segundo (Catalunha et al., 2002). Já o teste de Lilliefors (Campos, 1983) é mais eficaz que o teste de Kolmogorov-Smirnov, porém é específico para verificar a aderência dos dados amostrais à distribuição normal. Os testes de Shapiro-Wilk e Cramer-von Mises também diferenciam-se quanto à sua eficácia.

O teste de aderência de qui-quadrado apresenta limitações. Por exemplo, a frequência de uma classe não pode ser inferior a cinco e os dados são agrupados em classes perdendo informações, o que não ocorre no teste de Kolmogorov-Smirnov, que além de poder ser realizado com os dados agrupados, pode também ser realizado com os dados isoladamente, sendo normalmente mais eficiente que o qui-quadrado em pequenas amostras, ou seja, menos de 30 observações (Campos, 1983). O teste de Kolmogorov-Smirnov é baseado no módulo da maior diferença entre a probabilidade observada e a estimada, que é comparada com um valor tabelado de acordo com o número de observações da série sob teste (Catalunha et al., 2002).

O objetivo deste trabalho foi verificar o ajuste das séries de dados de radiação solar global média decenal de 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, gumbel e weibull.

Material e Métodos

Os dados de radiação solar global das 22 estações meteorológicas, localizadas em 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, foram obtidos no Banco de Dados do Laboratório de Agrometeorologia, da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – Fepagro/SCT-RS (Tabela 1).

Os dados de radiação solar global foram coletados no período de 1956 a 2003, totalizando 47 anos de observações. Em cada município, com os dados diários de radiação solar global, estimou-se a média decenal dos 36 decêndios do ano (1º decêndio de janeiro até 3º decêndio de dezembro), formando 792 séries temporais (22 municípios x 36 decêndios), com número diferenciado de anos de observações em cada série em função da disponibilidade dos dados meteorológicos (Tabela 1).

Aplicou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (Campos, 1983; Assis et al., 1996) nas 792 séries de dados de radiação solar global média decenal, para verificar o ajuste dos dados às distribuições normal, log-normal, gama, gumbel e weibull (Assis et al., 1996; Morettin & Bussab, 2004; Spiegel et al., 2004), totalizando 3.960 testes (792 séries de dados x 5 distribuições).

A partir das coordenadas geográficas das estações meteorológicas dos 22 municípios, realizou-se a interpolação de isolinhas da radiação solar global média decenal de cada mês e decêndio, com o auxílio do aplicativo Surfer 7.0.

Resultados e Discussão

O valor da estatística D máximo do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov (Campos, 1983; Assis et al., 1996; Morettin & Bussab, 2004) informa a máxima distância entre as probabilidades empíricas e as teóricas obtidas sob a função de distribuição de probabilidade em teste. Assim, menores valores da estatística fornecem maiores valores de p-valor e, conseqüentemente, maior evidência de não-rejeição da hipótese nula (H_0),

ou seja, maior aderência dos dados à distribuição em teste.

Independentemente da função de distribuição de probabilidade (normal, log-normal, gama, gumbel e weibull), 3.691 (93,21%), dos 3.960 casos analisados (cinco distribuições x 22 municípios x 36 decêndios), se ajustaram às funções de distribuições de probabilidades testadas com $p\text{-valor} \geq 0,20$, ou seja, com boa aderência (Tabela 2). No nível de significância do teste de 0,05, ou seja, com probabilidade de um erro tipo I de 0,05, o número de séries de dados que não rejeitaram H_0 , isto é, os dados que se ajustam à distribuição em teste, elevou-se para 3.914 (98,84%). Portanto, apenas 1,16% dos casos não aderiram a nenhuma das distribuições neste nível de significância. Assim, pode-se inferir que entre as cinco distribuições testadas, os parâmetros de qualquer

uma delas poderiam ser utilizados para representar o comportamento da radiação solar global média decendial. Porém, a obtenção da estimativa dos parâmetros dessas distribuições e a estimativa das probabilidades diferem quanto ao grau de dificuldade. Então, convém verificar qual das funções estudadas tem o melhor ajuste, podendo a mesma coincidir com uma distribuição que apresente menor dificuldade de obtenção dos parâmetros e ainda, facilidade nas estimativas de probabilidades.

Entre as cinco funções de distribuições de probabilidades testadas na classe de $p\text{-valor} \geq 0,20$, a distribuição normal apresentou o maior número de aderências (782 séries de dados), ou seja, apenas dez séries de dados não se ajustaram à distribuição normal, em nível de significância de 0,20. No entanto, os dez casos se ajustaram com $p\text{-valor} \geq 0,10$, eviden-

Tabela 1. Coordenadas geográficas das estações meteorológicas localizadas em 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, período de coleta dos dados de radiação solar global média decendial e número de observações (mínimo, máximo e médio) entre as 36 séries (decêndios) de dados em cada município.

Município	Coordenadas geográficas ⁽¹⁾			Período	Número de observações		
	Altitude (m)	Latitude (S)	Longitude (W)		Mínimo	Máximo	Médio
Alegrete	96	29°46'59"	55°46'59"	1968–2001	15	20	17
Cachoeirinha	4	29°57'36"	51°04'22"	1975–2002	26	27	27
Caxias do Sul	787	29°10'25"	51°12'21"	1987–2003	16	17	16
Cruz Alta	473	28°38'21"	53°36'34"	1974–1998	21	24	23
Encruzilhada do Sul	420	30°32'35"	52°31'20"	1958–1999	33	37	35
Erechim	760	27°37'46"	52°16'33"	1966–1991	20	25	23
Farroupilha	702	29°14'30"	51°26'20"	1963–1996	27	30	29
Ijuí	448	28°23'17"	53°54'50"	1963–1990	20	27	25
Júlio de Castilhos	514	29°13'26"	53°40'45"	1956–1996	38	41	39
Santana do Livramento	210	30°53'18"	55°31'56"	1965–1981	13	16	15
Maquiné	32	29°40'49"	50°13'56"	1957–1997	35	38	37
Passo Fundo	709	28°15'41"	52°24'45"	1961–2003	43	43	43
Quaraí	100	30°23'17"	56°26'53"	1966–2000	29	33	31
Rio Grande	15	32°01'44"	52°15'37"	1956–1997	30	35	33
Santa Maria	95	29°41'25"	53°48'42"	1965–1998	29	33	31
Santa Rosa	273	27°51'50"	54°29'03"	1975–1999	21	24	22
São Borja	99	28°39'44"	56°00'15"	1956–2000	35	41	38
São Gabriel	109	30°27'27"	54°19'01"	1963–2000	31	37	35
Taquari	76	29°48'15"	51°49'30"	1963–2000	35	38	37
Uruguaiana	74	29°45'23"	57°05'12"	1963–1991	20	24	22
Vacaria	955	28°30'09"	50°56'12"	1966–1990	19	24	22
Veranópolis	705	28°56'14"	51°33'11"	1956–1999	29	32	30
Todos os municípios					13	43	29

⁽¹⁾Fonte: Instituto de Pesquisas Agronômicas (1989).

ciando boa aderência dos dados a esta distribuição. Em outro extremo, a distribuição weibull apresentou os menores índices de aderência. Esta distribuição apontou 41 dos 46 casos com p -valor $< 0,05$. As demais distribuições (log-normal, gama e gumbel) estão em situações intermediárias (Tabela 3).

O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov revelou a distribuição normal como a mais adequada ao estudo para representar radiação solar global média decendial, bastando estimar os parâmetros desta distribuição (média e desvio-padrão) para os cálculos de probabilidade dentro de limites de intervalos desejados.

As estimativas dos parâmetros média ($\hat{\mu}$) e desvio-padrão ($\hat{\sigma}$) da radiação solar global média decendial em cada decêndio e município (Tabela 4) possibilitam estimar as probabilidades acima ou abaixo de qualquer valor de radiação solar global média decendial, visando minimização de riscos. Assim, a probabilidade da radiação

solar global média decendial ser menor ou igual a $511 \text{ cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ no primeiro decêndio de janeiro no município de Alegrete é de 50%.

De maneira geral, a radiação solar global média decendial apresentou maiores valores no primeiro e último mês do ano, ocorrendo diminuição nos meses de junho e julho. Resultado semelhante foi encontrado por Bergamaschi et al. (2003) em Eldorado do Sul, RS. Isto ocorreu por causa do solstício de verão que acontece na segunda quinzena de dezembro, com redução gradativa da insolação e aumento da declinação solar até o solstício de inverno, na segunda quinzena de junho.

De modo geral, na primavera e no verão, ocorreu um aumento da radiação solar global média decendial no sentido Nordeste-Sudoeste e nos meses de maio, junho, julho e agosto uma diminuição no sentido Norte-Sul. Já nos meses de março e abril, a maior radiação solar global média decendial ocorreu na Região Central do Rio Grande do Sul (Figuras 1, 2 e 3).

Tabela 2. Frequência absoluta (f_i), frequência acumulada (F_i), frequência relativa absoluta (fr_i) e frequência relativa acumulada (Fr_i) de ajustes das 792 séries de dados de radiação solar global média decendial às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, gumbel e weibull em 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, em cada classe de p -valor, pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

p-valor	f_i	F_i	fr_i (%)	Fr_i (%)
$p < 0,01$	18	18	0,45	0,45
$p < 0,05$	28	46	0,71	1,16
$p < 0,10$	61	107	1,54	2,70
$p < 0,15$	76	183	1,92	4,62
$p < 0,20$	86	269	2,17	6,79
$p \geq 0,20$	3.691	3.960	93,21	100,00

Tabela 3. Frequência absoluta (f_i) e frequência relativa absoluta (fr_i) de casos em que os dados de 792 séries de radiação solar global média decendial se ajustaram às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, gumbel e weibull, em 22 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, em cada classe de p -valor pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov.

p-valor	Normal		Log-normal		Gama		Gumbel		Weibull	
	f_i	fr_i	f_i	fr_i	f_i	fr_i	f_i	fr_i	f_i	fr_i
$p < 0,01$	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	18	2,27
$p < 0,05$	0	0,00	3	0,38	0	0,00	2	0,25	23	2,90
$p < 0,10$	0	0,00	6	0,76	6	0,76	13	1,64	36	4,55
$p < 0,15$	4	0,51	12	1,52	7	0,88	25	3,16	28	3,54
$p < 0,20$	6	0,76	23	2,90	13	1,64	24	3,03	20	2,53
$p \geq 0,20$	782	98,74	748	94,44	766	96,72	728	91,92	667	84,22
Total	792	100,00	792	100,00	792	100,00	792	100,00	792	100,00

Tabela 4. Estimativa dos parâmetros média ($\hat{\mu}$) e desvio-padrão ($\hat{\sigma}$) da radiação solar global média decendial, em cal cm² dia⁻¹, de cada município e decêndio do Estado do Rio Grande do Sul.

Mês	Decêndio	Alegrete		Cachoeirinha		Caxias do Sul		Cruz Alta		Encruzilhada do Sul		Erechim		Farpilha		Ijuí		Júlio de Castilhos		Santana do Livramento		Maquiné	
		$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}$
Jan.	1	511	85	526	73	428	52	508	71	477	89	462	107	450	63	527	93	492	124	478	63	421	101
	2	484	99	497	82	403	60	503	98	510	90	468	121	450	87	538	121	488	127	489	63	421	105
	3	485	52	484	78	382	67	478	99	478	84	464	102	441	69	529	102	461	118	470	84	394	84
Fev.	1	453	58	470	90	380	82	489	87	459	81	479	95	436	68	511	70	466	105	451	79	402	78
	2	425	82	462	67	382	43	473	73	432	107	434	90	409	65	475	94	444	122	416	75	361	93
	3	449	64	443	79	363	65	439	116	428	88	417	96	412	84	462	121	427	113	443	72	376	97
Mar.	1	408	62	431	56	351	60	439	73	418	64	425	50	388	62	475	65	415	113	397	55	350	80
	2	365	54	410	59	348	51	403	88	372	70	375	80	360	72	432	80	380	100	367	29	352	86
	3	369	49	374	49	310	45	389	66	356	73	371	79	324	59	405	80	358	85	354	51	321	81
Abr.	1	355	39	353	63	294	52	355	83	332	65	334	68	312	63	379	92	321	76	342	47	297	72
	2	303	44	302	54	239	45	302	61	303	80	323	63	279	51	336	80	290	60	306	45	282	69
	3	305	43	292	49	234	56	305	73	296	60	312	59	266	53	327	80	278	61	296	44	265	72
Maio	1	255	39	267	37	227	27	268	49	281	60	280	68	242	48	285	65	260	69	253	36	249	71
	2	238	44	250	31	202	27	238	47	242	57	277	63	224	40	275	62	232	62	226	32	223	57
	3	231	40	238	39	198	29	237	46	239	56	265	50	212	44	256	57	223	60	213	30	219	63
Jun.	1	200	58	223	29	188	31	220	43	206	61	222	60	194	42	223	57	203	65	194	46	209	60
	2	179	45	207	38	173	26	209	55	207	52	228	46	192	37	219	46	204	59	186	44	202	49
	3	184	38	210	39	179	32	210	39	211	49	217	54	192	45	224	51	199	52	174	36	194	48
Jul.	1	199	38	203	37	163	38	219	58	199	51	226	48	199	38	223	64	194	56	183	55	186	47
	2	213	49	223	50	197	39	231	47	206	44	241	51	208	32	232	42	210	53	183	35	217	58
	3	230	42	237	51	200	28	245	51	222	56	266	63	223	37	269	58	225	65	193	40	216	46
Ago.	1	224	58	229	52	210	37	236	58	223	66	263	60	223	47	261	63	230	62	210	46	228	69
	2	266	46	251	67	230	41	277	56	258	63	278	65	228	60	277	64	251	65	257	57	249	78
	3	287	36	273	57	245	32	308	58	259	55	301	63	242	43	296	66	272	82	280	48	251	72
Set.	1	308	53	318	67	270	47	344	64	291	83	332	56	292	69	336	91	300	87	319	55	275	92
	2	319	75	315	62	274	47	320	65	293	61	311	86	277	71	333	89	291	84	313	49	263	77
	3	354	65	342	59	280	68	340	94	327	69	354	65	303	82	389	95	341	94	356	44	292	69
Out.	1	378	81	381	67	322	49	388	82	363	64	384	78	346	59	432	100	373	90	370	91	329	76
	2	411	49	415	70	330	68	420	88	398	76	410	72	377	66	476	96	410	77	408	62	347	88
	3	427	41	427	69	371	63	431	84	407	94	431	76	364	69	467	76	422	97	409	66	357	94
Nov.	1	418	66	448	82	384	77	455	95	437	79	439	86	402	54	453	110	445	108	429	80	386	106
	2	502	75	502	58	422	64	467	87	483	72	466	68	425	62	514	83	482	87	472	65	388	105
	3	479	51	508	68	418	71	511	70	487	84	482	80	429	54	517	104	483	107	473	45	410	106
Dez.	1	489	114	485	76	418	54	532	93	476	79	488	52	444	60	539	86	506	109	498	71	412	103
	2	508	59	514	53	428	53	527	76	490	74	484	84	446	73	539	80	505	112	486	59	424	91
	3	510	84	513	66	426	64	522	95	499	91	488	89	457	67	568	70	506	115	503	52	434	116

Continua...

Tabela 4. Continuação.

Mês	Decêndio	Passo Fundo		Quaraí		Rio Grande		Santa Maria		Santa Rosa		São Borja		São Gabriel		Taquari		Uruguaiana		Vacaria		Veranópolis	
		μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ
Jan.	1	519	62	519	90	461	100	461	66	491	67	510	86	511	62	490	56	508	59	495	69	535	86
	2	518	75	517	93	474	105	465	77	471	81	507	81	504	57	493	66	502	55	491	75	526	89
	3	499	62	490	76	461	118	440	74	461	47	476	73	469	64	462	57	488	75	490	55	521	80
Fev.	1	477	57	463	76	451	100	431	70	458	73	460	83	454	79	454	51	449	62	489	56	497	72
	2	464	59	471	80	425	95	410	80	436	78	444	92	446	67	427	64	447	56	430	63	492	77
	3	468	78	450	84	407	125	395	87	405	69	430	86	430	75	429	67	453	51	438	82	480	80
Mar.	1	418	46	435	86	390	71	461	66	409	66	418	84	420	54	400	46	400	68	432	40	462	60
	2	415	62	403	71	373	70	465	77	381	64	399	67	391	49	385	64	365	52	393	74	429	73
	3	388	56	384	75	363	81	440	74	354	63	380	66	369	50	349	55	371	55	369	62	408	82
Abr.	1	342	51	358	47	311	59	431	70	329	52	336	75	335	59	332	48	332	64	359	65	362	63
	2	320	60	320	59	286	60	410	80	283	56	303	68	294	66	295	45	292	52	339	50	336	72
	3	323	55	309	59	284	56	395	87	271	47	293	58	287	41	281	48	300	48	316	33	327	55
Maio	1	270	48	288	47	247	49	254	48	282	89	281	54	269	45	261	39	276	40	282	49	294	59
	2	263	43	252	57	225	43	226	47	253	68	251	55	252	33	238	41	252	46	268	45	261	46
	3	265	37	248	52	209	52	216	46	239	57	248	46	233	45	226	36	235	48	260	39	268	46
Jun.	1	223	43	222	60	187	49	191	44	208	41	215	51	207	50	202	42	225	44	228	39	244	53
	2	213	38	212	45	186	45	186	42	208	43	208	41	196	32	197	35	214	44	216	38	227	49
	3	225	31	223	55	170	40	187	36	212	48	217	44	195	36	197	30	209	36	222	38	234	52
Jul.	1	223	40	225	55	177	54	189	39	189	58	214	46	202	46	195	33	208	42	221	45	216	56
	2	234	33	230	58	185	43	198	45	216	65	224	52	207	43	210	44	221	34	239	47	240	53
	3	245	36	242	67	191	41	208	43	236	56	240	46	230	43	224	45	236	45	256	47	260	55
Ago.	1	280	46	253	64	208	64	212	52	237	65	248	53	230	51	226	42	238	44	256	50	268	64
	2	286	57	296	56	244	48	238	52	256	75	282	53	268	44	252	58	277	50	274	53	281	72
	3	275	42	311	48	249	64	258	54	272	67	292	62	277	47	264	51	300	44	287	46	316	66
Set.	1	339	59	351	69	271	75	298	60	296	80	331	74	313	70	300	74	309	82	327	63	337	76
	2	313	59	353	73	293	71	284	57	300	71	325	62	338	72	298	55	342	70	306	69	322	76
	3	336	64	386	62	322	75	321	67	310	70	355	73	354	56	332	66	370	66	357	49	357	68
Out.	1	396	59	407	78	339	70	348	68	355	62	387	58	390	80	365	53	396	71	400	78	416	83
	2	417	72	443	56	368	69	392	71	389	75	431	71	425	73	398	59	447	67	425	87	447	86
	3	426	57	450	59	393	97	382	71	395	62	440	70	429	62	408	51	447	62	455	80	471	102
Nov.	1	474	65	464	81	405	95	398	78	400	83	449	80	431	86	435	71	453	76	461	58	471	101
	2	498	52	523	77	437	100	452	71	443	57	483	82	487	74	471	55	482	59	474	62	525	97
	3	501	65	521	75	459	96	447	57	461	93	499	72	500	63	481	65	495	46	494	55	528	77
Dez.	1	525	69	535	84	471	87	465	56	468	70	499	78	495	59	473	80	504	62	519	90	525	86
	2	530	64	533	73	493	101	471	65	475	60	504	79	513	53	489	47	511	50	529	57	526	94
	3	527	55	536	74	492	117	475	69	475	67	520	80	516	74	493	62	521	58	512	80	546	71

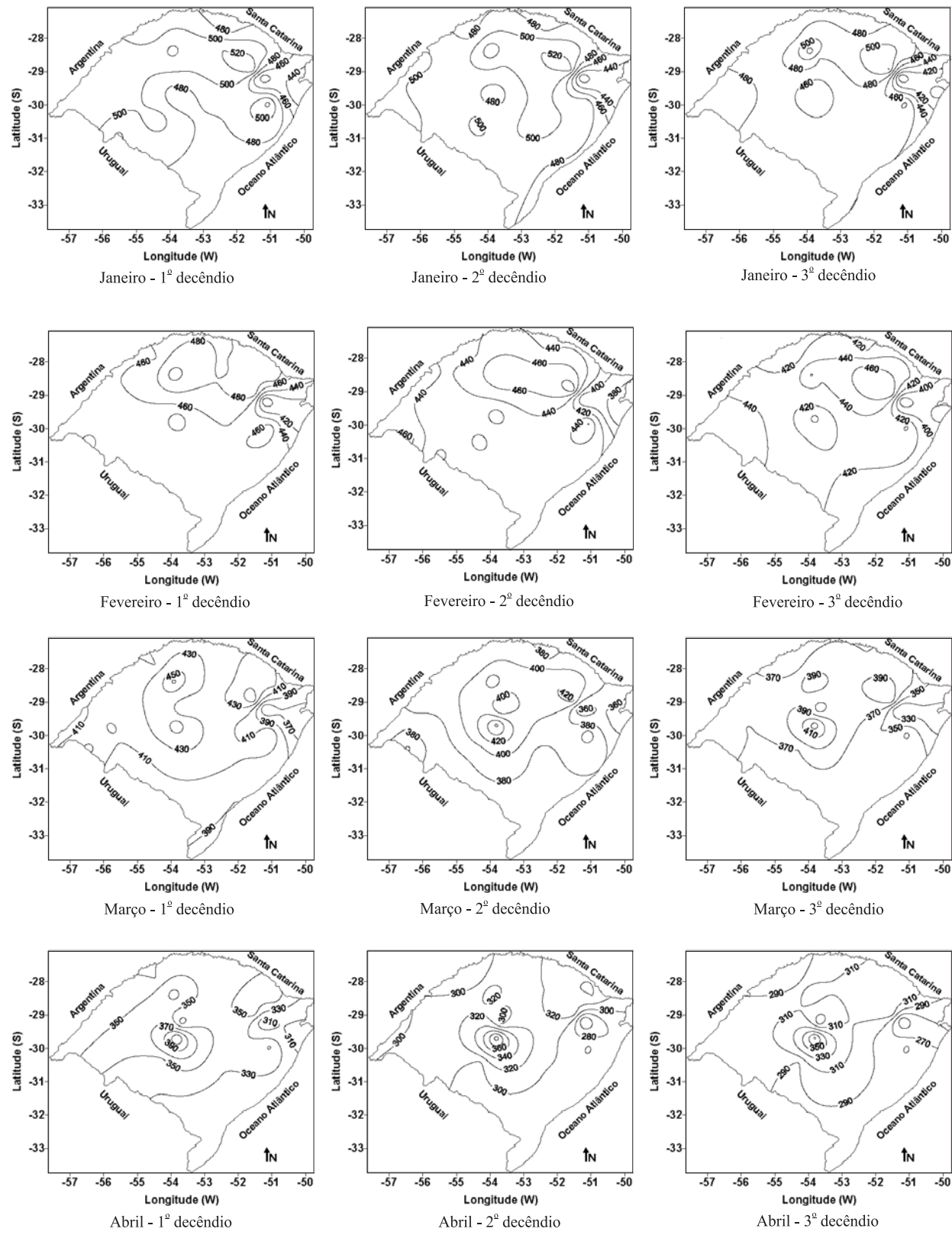


Figura 1. Isolinhas da radiação solar global média decenal, em $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, de cada mês e decênio no Estado do Rio Grande do Sul.

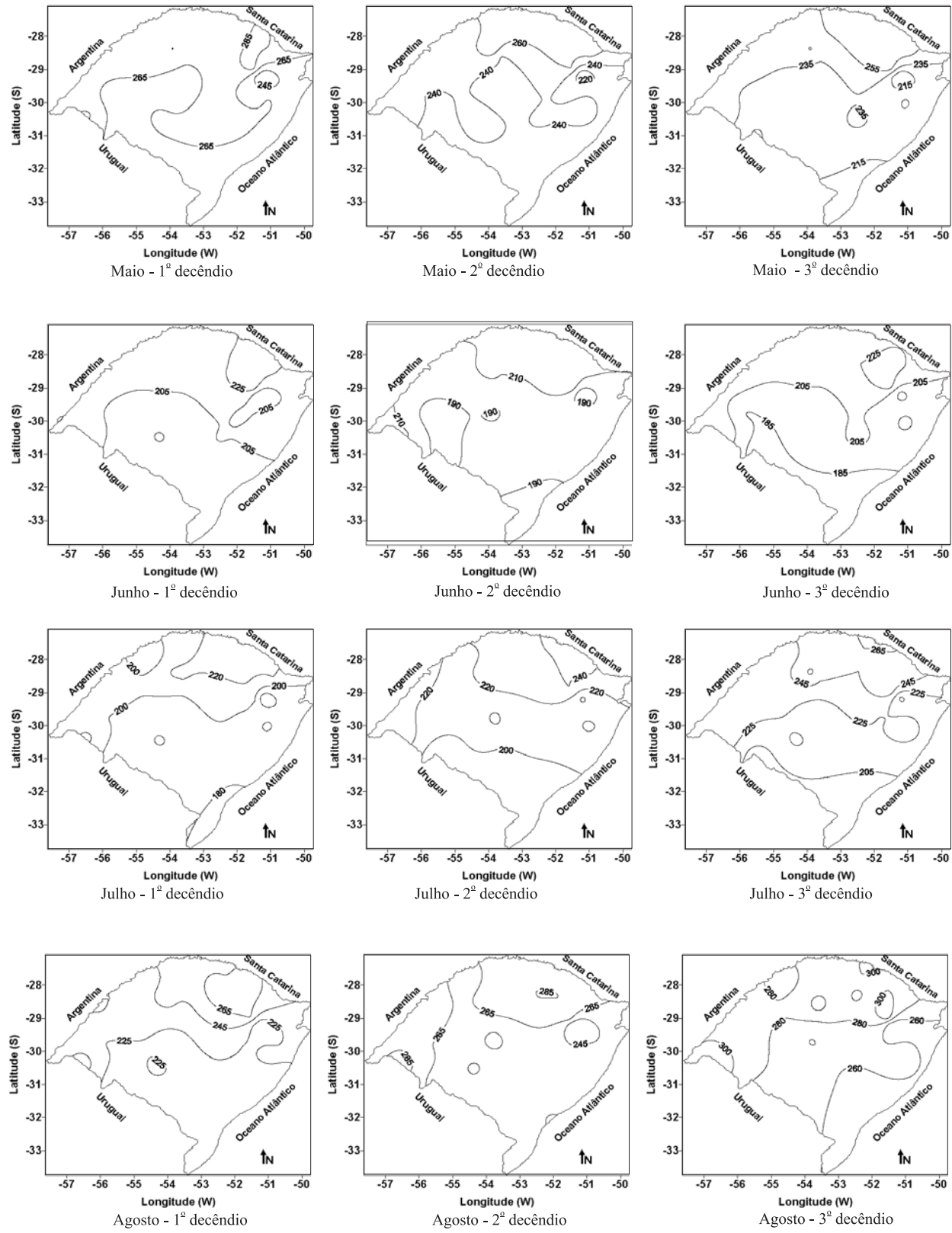


Figura 2. Isolinhas da radiação solar global média decenal, em $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, de cada mês e decênio no Estado do Rio Grande do Sul.

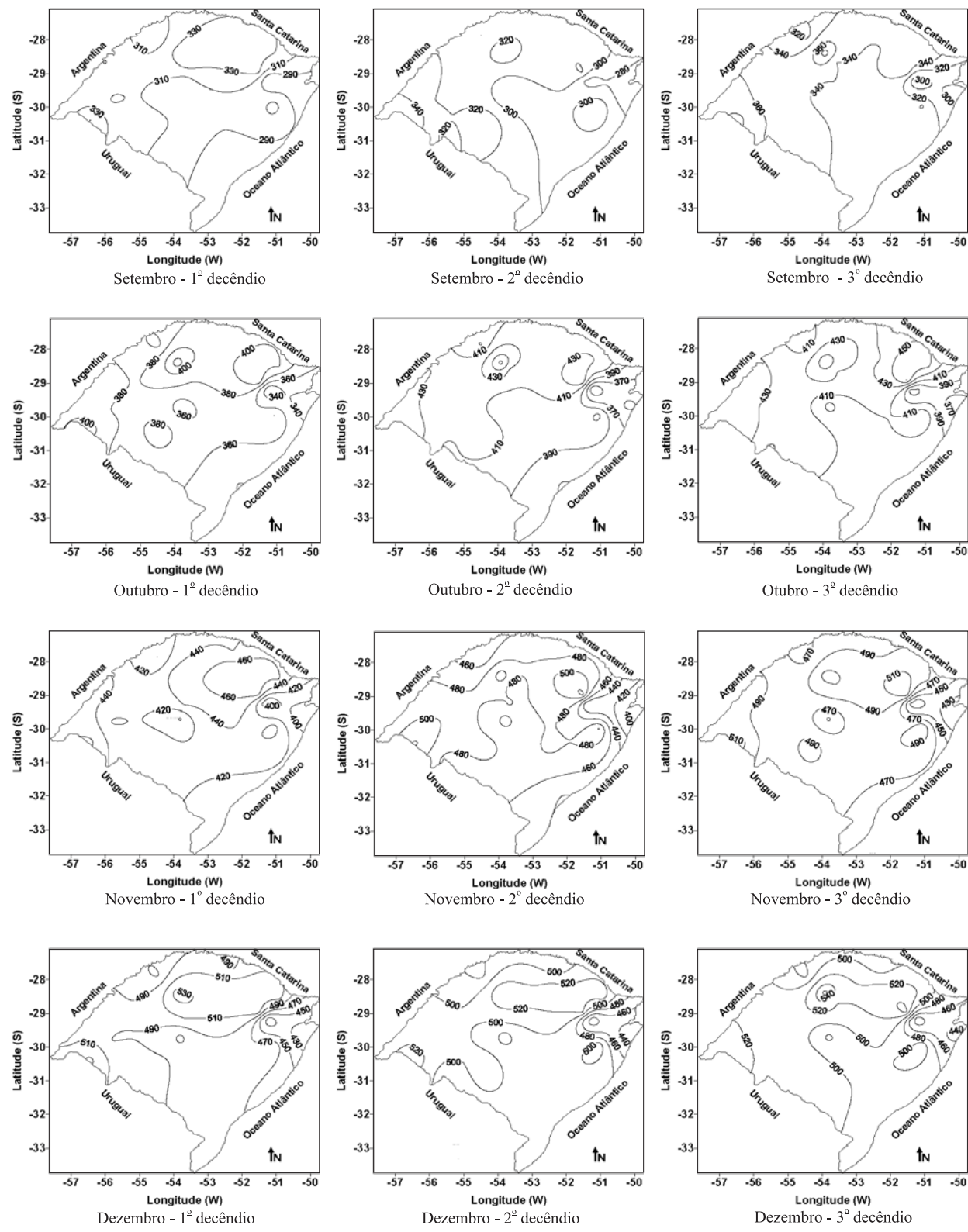


Figura 3. Isolinhas da radiação solar global média decenal, em $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, de cada mês e decênio no Estado do Rio Grande do Sul.

Conclusão

Os dados de radiação solar global média decendial se ajustam às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama, gumbel e weibull e apresentam melhor ajuste à função de distribuição de probabilidade normal.

Agradecimento

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de bolsa a Ronaldo Matzenauer.

Referências

- ASSAD, E.D.; CASTRO, L.H.R. Análise freqüencial da pluviometria para a estação de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, p.397-402, 1991.
- ASSIS, F.N. de. Ajuste da função gama aos totais semanais de chuva de Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.1, p.131-136, 1993.
- ASSIS, F.N. de. **Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba, SP e Pelotas, RS**, 1991. 134p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- ASSIS, F.N. de; ARRUDA, H.V. de; PEREIRA, A.R. **Aplicações de estatística à climatologia: teoria e prática**. Pelotas: UFPEL, 1996. 161p.
- ÁVILA, A.M.H.; BERLATO, M.A.; SILVA, J.B.; FONTANA, D.C. Probabilidade de ocorrência de precipitação pluvial mensal igual ou maior que a evapotranspiração potencial para a estação de crescimento das culturas de primavera-verão no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.2, p.149-154, 1996.
- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M.R.; CARDOSO, L.S.; SILVA, M.I.G. **Clima da Estação Experimental da UFRGS e região de abrangência**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 78p.
- BERLATO, M.A. **Modelo de relação entre o rendimento de grãos da soja e o déficit hídrico para o Estado do Rio Grande do Sul**. 1987. 93p. Tese (Doutorado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.
- BOTELHO, V.A.V.A.; MORAIS, A.R. Estimativas dos parâmetros da distribuição gama de dados pluviométricos do Município de Lavras, Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v.23, p.697-706, 1999.
- BURIOL, G.A.; ESTEFANEL, V.; ANDRIOLO, J.L.; MATZENAUER, R.; TAZZO, I.F. Disponibilidade de radiação solar para o cultivo do tomateiro durante o inverno no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, p.113-120, 2000a.
- BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; MATZENAUER, R.; MARCON, I.A. Condições térmicas para o cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS: 1. Temperaturas baixas limitantes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, p.205-213, 2000b.
- BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; MATZENAUER, R.; MARCON, I.A. Condições térmicas para o cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS: 2. Temperatura máxima e soma térmica. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.6, p.215-223, 2000c.
- BURIOL, G.A.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V.; MATZENAUER, R.; MARCON, I.A. Probabilidade de ocorrência de valores de radiação solar prejudiciais ao cultivo do pepineiro na região do baixo vale do Taquari, RS. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v.7, p.97-104, 2001.
- CAMPOS, H. de. **Estatística experimental não-paramétrica**. 4.ed. Piracicaba: Departamento de Matemática e Estatística - ESALQ, 1983. 349p.
- CASTRO, R. **Distribuição probabilística da freqüência de precipitação na região de Botucatu-SP**. 1996. 101p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.10, p.153-162, 2002.
- INSTITUTO DE PESQUISAS AGRONÔMICAS. Seção de Ecologia Agrícola. **Atlas Agroclimático do Estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre, 1989.
- MORETTIN, P.A.; BUSSAB, W.O. **Estatística básica**. 5.ed. São Paulo: Saraiva, 2004. 526p.
- MOTA, F.S.; ROSSKOFF, J.L.C.; SILVA, J.B. Probabilidade de ocorrência de dias com temperaturas iguais ou superiores a 35°C no florescimento do arroz no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, p.147-149, 1999.
- ROSENBERG, N.J. **Microclimate: the biological environment**. New York: John Wiley & Sons, 1974. 315p.
- SLATER, P.N. **Remote sensing, optics and optical systems**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1980. 575p.
- SPIEGEL, R.A.; SCHILLER, J.; SRINIVASAN, R.A. **Probabilidade e estatística**. 2.ed. Porto Alegre: Bookman, 2004. 398p.

Recebido em 26 de junho de 2004 e aprovado em 3 de setembro de 2004