

Probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas e máximas mensais do ar prejudiciais e favoráveis aos cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul

Probability of occurrence of harmful and favorable monthly minimum and maximum air temperatures for agricultural crops in Rio Grande do Sul

Rodrigo de Moraes Borges

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

rodrigo.moraish@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0717-8875>

Alberto Cargnelutti Filho

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8608-9960>

Murilo Vieira Loro

Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil

muriloloro@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0241-4226>

RESUMO

Os objetivos deste trabalho foram verificar o ajuste de séries temporais de temperaturas mínima mensal ($T_{mín}$) e máxima mensal ($T_{máx}$) do ar, do Estado do Rio Grande do Sul, às distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama e weibull, determinar probabilidades de ocorrência e elaborar mapas com a interpolação de isolinhas. Aplicou-se o teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* em 216 séries temporais de $T_{mín}$ e 216 séries temporais de $T_{máx}$ (18 municípios $\times$ 12 meses). Com base na distribuição normal, determinaram-se valores de $T_{mín}$, cuja probabilidade de ocorrência de $T_{mín}$ menor ou igual a esse valor é de 90%, e valores de $T_{máx}$, cuja probabilidade de ocorrência de $T_{máx}$ maior ou igual a esse valor é de 90%. A partir desses valores foram elaborados mapas com interpolação de isolinhas com diferença de 0,5°C. Os dados de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ se ajustam às distribuições normal, log-normal, gama e weibull, apresentando melhor aderência à distribuição normal. Os mapas com as isolinhas são úteis para verificar a probabilidade de ocorrência de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ prejudicial ou favorável para culturas agrícolas no Estado do Rio Grande do Sul, durante os meses do ano.

Palavras-chave: Séries temporais, Distribuição de probabilidade, Normal, Log-normal, Gama, Weibull.

ABSTRACT

The objectives of this work were to verify the adjustment of time series of monthly minimum ($T_{mín}$) and monthly maximum ($T_{máx}$) air temperatures, in the State of Rio Grande do Sul, to the normal, log-normal, gamma and weibull probability distributions, to determine probabilities of occurrence and prepare maps with the interpolation of isolines. The *Kolmogorov-Smirnov* test was applied to 216 time series of $T_{mín}$ and 216 time series of $T_{máx}$ (18 cities $\times$ 12 months). Based on the normal distribution, values of $T_{mín}$ were determined, whose probability of occurrence of $T_{mín}$ less than or equal to this value is 90%, and values of $T_{máx}$, whose probability of occurrence of $T_{máx}$ greater or equal to this value is 90%. From these values, maps were prepared with interpolation of isolines with a difference of 0.5°C. The $T_{mín}$ and $T_{máx}$ data adjust the normal, log-normal, gamma and weibull distributions, showing better adherence to the normal distribution. The maps with the isolines are useful to verify the probability of occurrence of harmful or favorable $T_{mín}$ and $T_{máx}$ for agricultural crops in the State of Rio Grande do Sul, during the months of the year.

Keywords: Times series, Normal distribution, Normal, Log-normal, Gama, Weibull.

1. INTRODUÇÃO

Diante das mudanças climáticas e aquecimento global e dos seus impactos no meio ambiente e na agricultura, o estudo da probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas e máximas do ar prejudiciais e favoráveis ao meio se torna importante para subsidiar e auxiliar os agricultores e os setores do agronegócio, principalmente, em relação ao planejamento agrícola (BLANK, 2015).

De acordo com Taiz *et al.* (2017), a temperatura interfere no crescimento e desenvolvimento das plantas, resultando em alterações na taxa fotossintética, nas reações metabólicas, na respiração, na absorção de água e causando modificações da membrana plasmática. Portanto, temperaturas do ar abaixo da basal inferior ou acima da basal superior podem ocasionar prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

A macieira exige horas de frio abaixo de uma temperatura limite para quebra da dormência. Assim, Putti, Petri e Mendez (2003), concluíram que a temperatura efetiva para acumular horas de frio varia com a cultivar, podendo chegar até 15°C. Ao avaliar uma cultivar de nectarina e 14 cultivares de pêssego, Souza, Leonel e Silva (2011) concluíram que para a maioria das cultivares, as temperaturas basais máximas foram de 30°C, 34°C, 34°C e 28°C, nas fases poda-brotação, brotação-florescimento, florescimento-frutificação e maturação, respectivamente. Já as temperaturas basais mínimas oscilaram entre 8°C e 14°C.

Conhecendo as temperaturas limitantes das espécies torna-se importante calcular probabilidades de ocorrência dessas temperaturas, a fim de identificar as regiões e os meses do ano em que as temperaturas possam ser prejudiciais ou favoráveis ao cultivo. Partindo-se de séries temporais de dados é possível investigar, por meio de teste de aderência, o ajuste de funções de distribuição de probabilidade. Após, com base nas estimativas dos parâmetros da distribuição que apresentou melhor ajuste, é possível calcular as probabilidades de ocorrência de eventos de interesse. Estudos têm evidenciado a boa aderência dos dados de temperatura do ar à distribuição normal (ARAÚJO *et al.*, 2010a; ARAÚJO *et al.*, 2010b; ASSIS *et al.*, 2004; CARGNELUTTI FILHO; MATZENAUER; TRINDADE, 2008; SANSIGOLO, 2008).

Posteriormente, com as coordenadas geográficas de locais representativos e espacialmente bem distribuídos de uma região, é possível interpolar isolinhas de probabilidade em um mapa dessa região (JAKOB; YUNG, 2006). Esses mapas podem ser utilizados no planejamento de atividades agrícolas. Assim, os objetivos deste trabalho foram verificar o ajuste de séries temporais de temperaturas mínima mensal ($T_{mín}$) e máxima mensal ($T_{máx}$) do ar, do Estado do Rio Grande do Sul, às distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama e weibull, determinar probabilidades e elaborar mapas com a interpolação de isolinhas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de temperatura mínima mensal do ar ($T_{mín}$, em °C) e temperatura máxima mensal do ar ($T_{máx}$, em °C) de 18 estações meteorológicas, localizadas em 18 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, www.inmet.gov.br) (**Figura 1**). O período de coleta de dados foi de janeiro de 1961 a dezembro de 2019, totalizando 59 anos de observações. A $T_{mín}$ corresponde à média das temperaturas mínimas diárias do mês. A $T_{máx}$ corresponde à média das temperaturas máximas diárias do mês.

Foram formadas 216 séries temporais de $T_{mín}$ e 216 séries temporais de $T_{máx}$ (18 municípios $\times$ 12 meses), totalizando 432 séries. As séries temporais apresentaram número diferenciado de anos de observações em função da disponibilidade dos dados meteorológicos, pois durante o período houve falhas de registros, ou seja, ausência de dados. (**Tabela 1**).

Figura 1: Mapa do Estado do Rio Grande do Sul (RS) com as 18 estações meteorológicas localizadas em 18 municípios

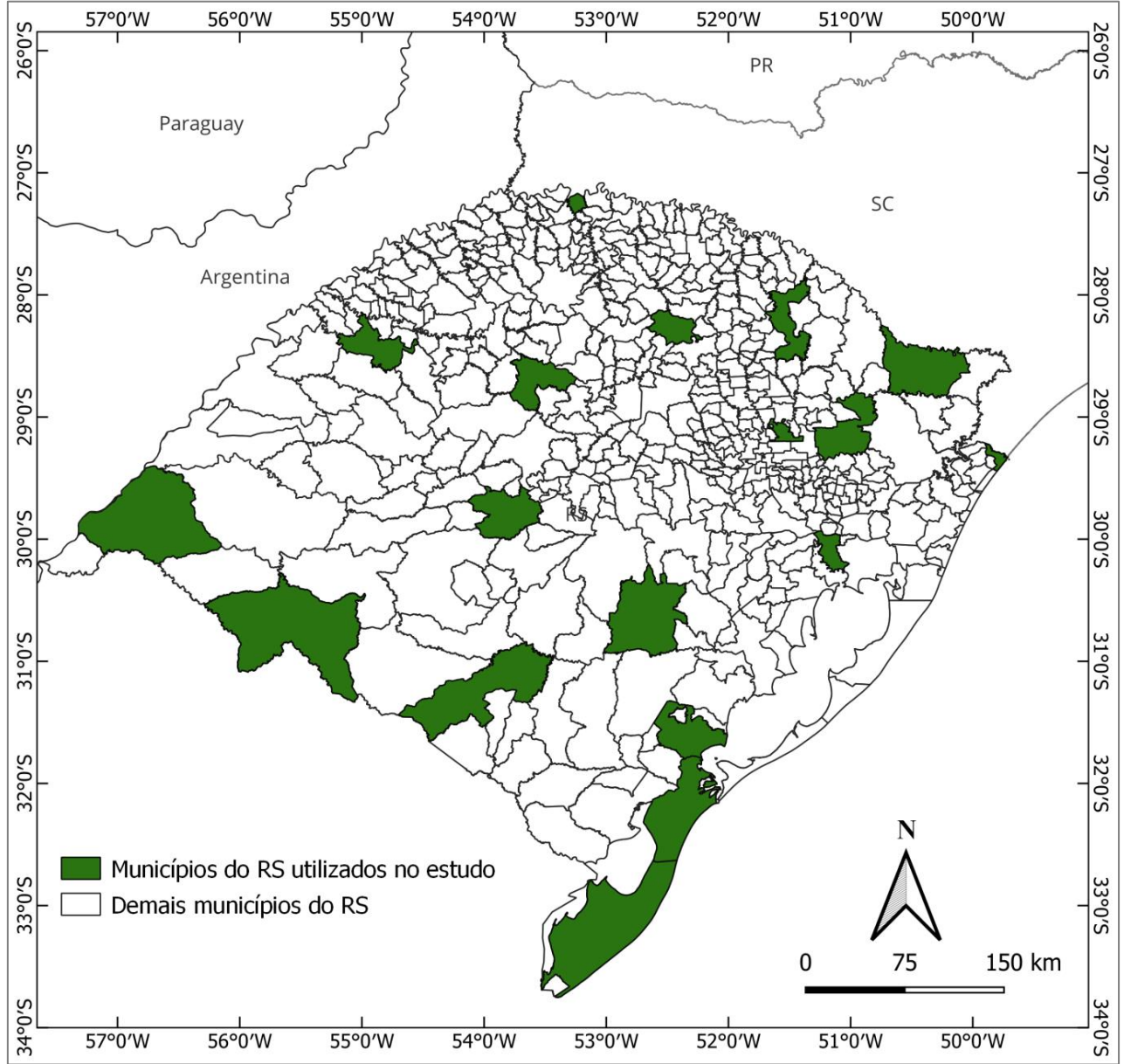


Tabela 1: Coordenadas geográficas das estações meteorológicas localizadas em 18 municípios do Estado do Rio Grande do Sul, período de coleta dos dados de temperaturas mínima mensal (T_{mín}) e máxima mensal (T_{máx}), número mínimo (Mín), máximo (Máx) e médio (Méd) de observações entre as 12 séries (meses) de dados, em cada município

Município	Coordenadas			Período	T _{mín}			Período	T _{máx}		
	Lat (S)	Long (W)	Altitude		Mín	Máx	Méd		Mín	Máx	Méd
Bagé	-31°19'48"	-54°06'00"	242,31	1961-2019	47	51	50	1961-2019	48	55	53
Bento Gonçalves	-29°08'60"	-51°30'36"	640,00	1961-2013	37	44	42	1961-2013	37	44	42
Bom Jesus	-28°39'36"	-50°25'48"	1047,50	1961-2019	40	47	44	1961-2019	39	49	46
Caxias do Sul	-29°09'36"	-51°12'00"	759,60	1961-2019	45	51	47	1961-2019	45	52	49
Cruz Alta	-28°37'48"	-53°36'00"	472,50	1961-2019	42	53	49	1961-2019	42	52	49
Encruzilhada do Sul	-30°31'48"	-52°30'36"	427,75	1961-2019	46	53	50	1961-2019	45	53	50
Iraí	-27°10'48"	-53°13'48"	247,10	1961-2018	43	46	45	1961-2018	45	49	48

Lagoa Vermelha	-28°12'36"	-51°30'00"	840,00	1961-2019	38	42	40	1961-2019	38	42	40
Passo Fundo	-28°12'36"	-52°23'60"	684,05	1961-2019	48	55	52	1961-2019	48	55	52
Pelotas	-31°46'48"	-52°24'36"	13,00	1961-2019	32	36	34	1961-2019	34	36	35
Porto Alegre	-30°03'00"	-51°09'36"	46,97	1961-2019	52	56	55	1961-2019	52	56	55
Rio Grande	-32°01'48"	-52°06'36"	2,46	1961-2015	41	47	45	1961-2015	42	47	45
Santa Maria	-29°41'60"	-53°42'00"	95,00	1961-2019	44	46	45	1961-2019	47	54	52
Santa Vitória do Palmar	-33°30'36"	-53°21'00"	24,01	1961-2019	45	53	51	1961-2019	34	42	40
Santana do Livramento	-30°49'48"	-55°36'00"	328,00	1961-2013	25	31	29	1961-2013	25	31	29
São Luiz Gonzaga	-28°23'60"	-55°00'36"	245,11	1961-2019	46	48	47	1961-2019	45	52	49
Torres	-29°21'00"	-49°43'48"	4,66	1961-2019	48	54	52	1961-2019	48	53	51
Uruguiana	-29°45'00"	-57°04'48"	62,31	1961-2018	45	49	47	1961-2018	45	49	47
Todos os municípios					25	56	46		25	56	46

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Nas 432 séries temporais aplicou-se o teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* (BUSSAB; MORETTIN, 2017), para verificar o ajuste dos dados às distribuições normal, log-normal, gama e weibull (FERREIRA, 2009; BUSSAB; MORETTIN, 2017), totalizando 1.728 testes (432 séries temporais $\times$ 4 distribuições de probabilidade).

Para cada série temporal, foi utilizada a função *INV.NORM(probabilidade; média; desv_padrao)* do aplicativo Microsoft Office Excel®, em que: *probabilidade* é a probabilidade assumida nesse estudo de 0,90 ou 90% para a $T_{mín}$ e 0,10 ou 10% para a $T_{máx}$; *média* é a média da série de dados; e *desv_padrao* é o desvio padrão da série de dados. Para as séries de $T_{mín}$ essa função retorna o valor de $T_{mín}$ cuja probabilidade de ocorrência de $T_{mín}$ menor ou igual a esse valor é de 90%. Para as séries de $T_{máx}$ essa função retorna o valor de $T_{máx}$ cuja probabilidade de ocorrência de $T_{máx}$ maior ou igual a esse valor é de 90%.

Com esses valores calculados para cada município e com as respectivas coordenadas geográficas foram elaborados mapas. Nesses mapas foram interpoladas isolinhas com diferença de 0,5°C entre si. A interpolação das isolinhas foi realizada pelo método da ponderação do inverso das distâncias (*Inverse Distance Weighted - IDW*) (JAKOB; YUNG, 2006). Dessa forma foram obtidos 12 mapas para a $T_{mín}$ e 12 mapas para a $T_{máx}$ (um mapa para cada mês do ano).

O interpolador IDW assume o pressuposto de que, os pontos mais próximos de si são mais parecidos que os mais distantes. Assim, para a predição de um valor para um determinado local não medido são usados os valores amostrados a sua volta. Esses valores próximos terão maior peso do que os valores mais distantes, ou seja, cada ponto possui uma influência no novo ponto amostrado e essa influência diminui conforme a distância aumenta (JAKOB; YUNG, 2006).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel® e do software R (R Development Core Team, 2020). Os mapas foram gerados utilizando o sistema de informações geográficas (GIS) por meio da Projeção Policônica e DATUM: SIRGAS 2000 com a utilização do software QGIS 3.12.3 (QGIS Development Team, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No teste de *Kolmogorov-Smirnov* interpreta-se que quanto maior o valor-p, maior é a aderência dos dados à curva da distribuição em teste (BUSSAB; MORETTIN, 2017). Assim, as médias dos 216 valores-p, ou seja, das 216 séries temporais de temperatura mínima mensal do ar ($T_{mín}$, em °C) (18 municípios $\times$ 12 meses), foram 0,7923; 0,7392; 0,7678; e 0,6357, respectivamente, para as distribuições normal, log-normal, gama e weibull. Em relação as 216 séries temporais de temperatura máxima mensal do ar ($T_{máx}$, em °C) (18 municípios $\times$ 12 meses), as médias do valor-p foram 0,8225; 0,8281; 0,8330; e 0,5611, respectivamente, para as distribuições normal, log-normal, gama e weibull. Entre os 1.728 testes (432 séries de dados $\times$ 4 distribuições de probabilidade) o menor valor-p obtido foi 0,025. Assim, assumindo-se o nível de 2,5% de significância do teste pode-se inferir

que os dados de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ apresentaram bons ajustes a essas quatro distribuições de probabilidade. Considerando que outros estudos têm evidenciado que a temperatura do ar tem bom ajuste à distribuição normal (ARAÚJO et al., 2010a; ARAÚJO et al., 2010b; ASSIS et al., 2004; CARGNELUTTI FILHO; MATZENAUER; TRINDADE, 2008; SANSIGOLO et al., 2008) e as facilidades de obtenção das estimativas dos parâmetros (média e desvio padrão) e dos cálculos de probabilidade, pode-se optar pelo uso da distribuição normal. Ressalta-se que em 215 séries de dados de $T_{mín}$ e em 215 séries de $T_{máx}$, o valor-p foi maior que 0,20, confirmando a boa aderência dessas séries de dados à distribuição normal.

Assim, para cada série temporal de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ foi calculada a média e o desvio padrão, cujas estimativas foram utilizadas nos cálculos de probabilidade com base na distribuição normal. Por exemplo, para a série de dados de $T_{mín}$ do município de Bagé no mês de janeiro a média foi 18,38°C (**Tabela 2**) e o desvio padrão foi 1,05°C (**Tabela 3**). Aplicando-se a função $INV.NORM(probabilidade; média; desv_padrão)$ do aplicativo Microsoft Office Excel®, ou seja, $INV.NORM(0,90;18,38;1,05)$ obtém-se 19,7°C (**Tabela 4**). Isso significa que no mês de janeiro, em Bagé, a probabilidade de ocorrência de $T_{mín}$ menor ou igual a 19,7°C é de 90% (**Figura 2**). Em outro exemplo, para a série de dados de $T_{máx}$ do município de Bagé no mês de janeiro a média foi 30,04°C (**Tabela 2**) e o desvio padrão foi 1,18°C (**Tabela 3**). Aplicando-se a função $INV.NORM(probabilidade; média; desv_padrão)$, ou seja, $INV.NORM(0,10;30,04;1,18)$ obtém-se 28,5°C (**Tabela 4**). Isso significa que no mês de janeiro, em Bagé, a probabilidade de ocorrência de $T_{máx}$ maior ou igual a 28,5°C é de 90% (**Figura 2**).

Tabela 2: Médias de temperaturas mínimas e máximas mensais, em °C, em municípios do estado do Rio Grande do Sul

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura mínima mensal, em °C												
Bagé	18,38	18,25	16,65	13,80	11,10	8,78	8,39	9,19	10,62	12,75	14,65	17,01
Bento Gonçalves	17,34	17,54	16,27	13,37	10,68	9,04	8,60	9,37	10,81	12,63	14,23	16,23
Bom Jesus	14,85	15,02	13,86	11,17	8,46	6,96	6,59	7,34	8,75	10,52	11,54	13,69
Caxias do Sul	17,05	17,23	16,04	13,59	11,19	9,33	8,89	9,57	10,81	12,37	13,95	15,95
Cruz Alta	18,48	18,27	17,02	14,20	11,63	9,67	9,14	10,31	11,57	13,74	15,57	17,67
Encruzilhada do Sul	18,03	17,96	16,82	14,28	11,71	9,27	8,82	9,52	10,77	12,72	14,44	16,60
Iraí	19,46	19,51	18,08	14,70	11,73	10,22	9,50	10,69	12,65	15,10	16,45	18,64
Lagoa Vermelha	16,64	16,72	15,48	12,90	10,14	8,51	8,03	8,82	10,51	12,39	13,78	15,52
Passo Fundo	17,62	17,53	16,31	13,62	11,05	9,34	8,94	9,80	11,26	13,21	14,74	16,66
Pelotas	19,00	19,21	17,26	14,02	10,83	8,62	8,44	9,03	11,13	13,56	15,32	17,44
Porto Alegre	20,58	20,70	19,39	16,45	13,41	10,96	10,55	11,43	13,15	15,41	17,07	19,15
Rio Grande	20,27	20,24	19,24	15,93	12,98	10,04	9,78	10,82	12,29	14,75	16,65	18,80
Santa Maria	19,61	19,46	17,92	14,71	11,95	10,06	9,67	10,44	12,07	14,45	16,15	18,36
Santa Vitória do Palmar	18,20	18,23	16,80	13,83	10,90	8,49	8,02	8,67	10,09	12,27	14,11	16,41
Santana do Livramento	17,84	17,71	16,11	12,92	10,40	8,14	7,79	8,54	9,81	12,35	14,35	16,42
São Luiz Gonzaga	20,13	19,87	18,49	15,72	13,02	11,37	10,86	11,71	13,15	15,31	16,99	19,23
Torres	20,24	20,53	19,55	16,97	14,01	11,60	11,00	11,90	13,53	15,65	17,07	19,03
Uruguiana	19,94	19,44	17,80	14,90	11,84	9,40	9,09	9,77	11,74	14,32	16,44	18,75
Temperatura máxima mensal, em °C												
Bagé	30,04	29,23	27,57	24,21	20,59	17,83	17,51	19,24	20,77	23,50	26,25	29,07
Bento Gonçalves	27,58	27,31	25,88	23,03	19,93	17,87	18,06	19,49	20,70	22,80	24,89	26,90
Bom Jesus	25,05	25,07	23,79	21,16	18,13	16,61	16,66	18,43	19,25	20,88	22,63	24,62
Caxias do Sul	26,67	26,45	24,89	22,16	18,97	17,20	17,38	18,85	19,98	21,90	23,97	26,00
Cruz Alta	29,65	29,05	27,89	25,19	21,69	19,40	19,10	21,02	22,35	25,00	27,59	29,36
Encruzilhada do Sul	28,78	28,16	26,54	23,35	19,76	17,28	17,01	18,65	20,13	22,69	25,37	27,92
Iraí	32,35	31,98	30,71	27,52	23,87	21,63	22,06	24,00	25,42	27,87	29,84	31,55
Lagoa Vermelha	27,52	27,45	25,94	23,39	20,04	18,11	18,32	19,68	21,03	23,14	25,30	26,88

Passo Fundo	28,33	27,93	26,86	24,22	20,74	18,52	18,60	20,27	21,58	24,01	26,40	28,10
Pelotas	28,63	28,52	26,98	24,37	20,90	18,45	17,82	18,69	19,94	22,52	24,96	27,18
Porto Alegre	30,59	30,29	28,73	25,78	22,38	19,87	19,69	21,15	22,33	24,86	27,18	29,53
Rio Grande	27,47	27,37	26,28	23,52	20,37	17,35	16,59	17,68	18,91	21,37	23,71	26,16
Santa Maria	30,69	30,11	28,56	25,49	22,16	19,57	19,40	21,03	22,32	25,05	27,62	29,98
Santa Vitória do Palmar	27,93	27,61	26,14	23,27	19,85	16,70	16,01	17,35	18,54	21,17	23,98	26,47
Santana do Livramento	30,42	29,36	27,39	23,82	20,36	17,52	17,36	18,81	20,30	23,40	26,13	28,53
São Luiz Gonzaga	32,17	31,44	30,02	26,88	23,17	20,69	20,65	22,52	24,17	26,96	29,50	31,51
Torres	26,63	26,97	26,36	24,41	21,77	19,45	18,67	19,18	19,78	21,75	23,49	25,45
Uruguiana	32,15	30,93	29,17	26,05	22,36	19,28	19,28	21,16	22,99	25,56	28,39	30,96

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 3: Desvios padrão das temperaturas mínimas e máximas mensais, em °C, em municípios do estado do Rio Grande do Sul

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura mínima mensal, em °C												
Bagé	1,05	1,15	1,15	1,54	1,67	1,91	1,83	1,61	1,46	1,41	1,34	0,99
Bento Gonçalves	0,98	0,89	1,11	1,25	1,48	1,58	1,58	1,39	1,31	1,36	1,10	1,01
Bom Jesus	1,38	1,26	1,14	1,32	1,72	1,77	1,94	1,65	1,66	1,32	1,21	1,01
Caxias do Sul	1,15	1,11	1,08	1,46	1,49	1,64	1,54	1,54	1,47	1,38	1,17	1,00
Cruz Alta	1,09	1,01	1,20	1,67	1,50	1,97	1,77	1,48	1,55	1,39	1,11	0,98
Encruzilhada do Sul	0,96	0,91	1,05	1,27	1,41	1,65	1,53	1,43	1,33	1,22	1,08	0,91
Iraí	1,34	1,43	1,44	2,02	2,01	2,06	1,86	1,70	1,73	1,86	1,35	1,36
Lagoa Vermelha	1,06	1,00	1,10	1,62	1,81	1,66	1,58	1,53	1,42	1,32	1,20	1,05
Passo Fundo	0,88	0,97	0,98	1,35	1,42	1,63	1,59	1,40	1,30	1,26	1,06	0,84
Pelotas	1,24	1,12	1,53	1,84	2,07	2,14	1,58	1,80	1,85	1,98	1,82	1,41
Porto Alegre	0,98	0,96	0,99	1,29	1,56	1,78	1,53	1,41	1,37	1,22	1,01	0,87
Rio Grande	1,05	1,31	1,30	1,59	2,01	1,85	1,76	1,25	1,38	1,32	1,13	1,03
Santa Maria	1,15	1,12	1,21	1,57	1,71	2,10	1,83	1,75	1,52	1,52	1,34	1,00
Santa Vitória do Palmar	0,93	1,07	1,11	1,53	1,56	1,59	1,62	1,30	1,43	1,41	1,32	1,15
Santana do Livramento	1,15	0,94	1,59	1,61	1,57	1,92	1,94	1,29	1,54	1,41	1,05	0,83
São Luiz Gonzaga	1,05	1,01	1,15	1,63	1,66	1,97	1,89	1,72	1,56	1,50	1,32	1,03
Torres	1,06	0,90	1,05	1,29	1,48	1,62	1,43	1,29	1,36	1,13	0,89	0,96
Uruguiana	0,94	1,12	1,29	1,56	1,81	2,18	2,18	1,55	1,65	1,43	1,28	0,88
Temperatura máxima mensal, em °C												
Bagé	1,18	1,40	1,27	1,55	1,65	1,59	1,71	1,61	1,34	1,11	1,32	1,60
Bento Gonçalves	0,83	1,14	1,27	1,34	1,65	1,37	1,75	1,59	1,51	1,20	1,06	1,12
Bom Jesus	1,21	1,02	1,24	1,48	1,57	1,52	1,55	1,87	1,65	1,47	1,44	1,22
Caxias do Sul	0,84	1,25	1,17	1,56	1,61	1,54	1,64	1,72	1,54	1,41	1,29	0,99
Cruz Alta	1,04	1,22	1,43	1,62	1,61	1,64	1,88	1,69	1,52	1,24	1,27	1,24
Encruzilhada do Sul	1,03	1,26	1,40	1,46	1,47	1,38	1,53	1,72	1,43	1,23	1,45	1,38
Iraí	1,25	1,12	1,35	1,53	1,52	1,49	1,84	1,59	1,64	1,35	1,33	1,67
Lagoa Vermelha	0,99	1,08	1,21	1,34	1,44	1,38	1,40	1,83	1,71	1,32	1,29	1,15
Passo Fundo	0,81	1,07	1,24	1,47	1,52	1,42	1,74	1,56	1,59	1,22	1,05	1,01
Pelotas	0,94	1,28	0,92	1,33	1,36	1,54	1,63	1,63	1,27	0,97	1,11	1,17
Porto Alegre	0,94	1,20	1,27	1,35	1,52	1,65	1,52	1,70	1,41	1,24	1,14	1,20
Rio Grande	1,19	1,28	1,21	1,37	1,40	1,49	1,43	1,44	1,16	1,15	1,10	1,15
Santa Maria	1,03	1,14	1,34	1,28	1,56	1,67	1,83	1,70	1,44	1,15	1,26	1,18
Santa Vitória do Palmar	0,91	1,10	0,82	1,17	1,40	1,35	1,47	1,36	0,87	1,00	1,09	1,37
Santana do Livramento	1,39	1,79	1,55	1,53	1,81	1,50	1,52	1,56	1,24	1,13	1,41	1,35

São Luiz Gonzaga	1,35	1,19	1,74	1,65	1,51	1,60	1,81	1,76	1,53	1,42	1,45	1,39
Torres	1,25	1,22	1,12	1,19	1,28	1,39	1,27	1,28	1,13	0,99	0,99	1,16
Uruguiana	1,17	1,52	1,35	1,68	1,61	1,40	2,00	1,62	1,51	1,04	1,32	1,57

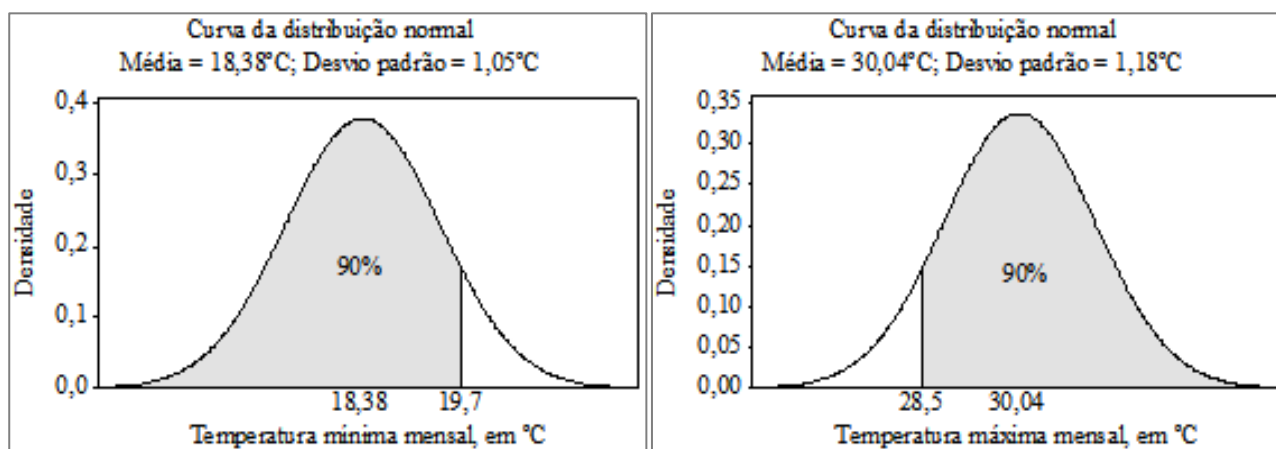
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 4: Valor de temperaturas mínimas e máximas mensais, em °C, cuja probabilidade de ocorrência de temperatura mínima mensal menor ou igual a esse valor e temperatura máxima mensal maior ou igual a esse valor é de 90%, em municípios do estado do Rio Grande do Sul

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temperatura mínima mensal, em °C												
Bagé	19,7	19,7	18,1	15,8	13,2	11,2	10,7	11,3	12,5	14,6	16,4	18,3
Bento Gonçalves	18,6	18,7	17,7	15,0	12,6	11,1	10,6	11,2	12,5	14,4	15,6	17,5
Bom Jesus	16,6	16,6	15,3	12,9	10,7	9,2	9,1	9,5	10,9	12,2	13,1	15,0
Caxias do Sul	18,5	18,7	17,4	15,5	13,1	11,4	10,9	11,5	12,7	14,1	15,4	17,2
Cruz Alta	19,9	19,6	18,6	16,3	13,6	12,2	11,4	12,2	13,6	15,5	17,0	18,9
Encruzilhada do Sul	19,3	19,1	18,2	15,9	13,5	11,4	10,8	11,4	12,5	14,3	15,8	17,8
Iraí	21,2	21,3	19,9	17,3	14,3	12,9	11,9	12,9	14,9	17,5	18,2	20,4
Lagoa Vermelha	18,0	18,0	16,9	15,0	12,5	10,6	10,1	10,8	12,3	14,1	15,3	16,9
Passo Fundo	18,7	18,8	17,6	15,3	12,9	11,4	11,0	11,6	12,9	14,8	16,1	17,7
Pelotas	20,6	20,6	19,2	16,4	13,5	11,4	10,5	11,3	13,5	16,1	17,7	19,2
Porto Alegre	21,8	21,9	20,7	18,1	15,4	13,2	12,5	13,2	14,9	17,0	18,4	20,3
Rio Grande	21,6	21,9	20,9	18,0	15,6	12,4	12,0	12,4	14,1	16,4	18,1	20,1
Santa Maria	21,1	20,9	19,5	16,7	14,1	12,7	12,0	12,7	14,0	16,4	17,9	19,6
Santa Vitória do Palmar	19,4	19,6	18,2	15,8	12,9	10,5	10,1	10,3	11,9	14,1	15,8	17,9
Santana do Livramento	19,3	18,9	18,1	15,0	12,4	10,6	10,3	10,2	11,8	14,2	15,7	17,5
São Luiz Gonzaga	21,5	21,2	20,0	17,8	15,1	13,9	13,3	13,9	15,1	17,2	18,7	20,5
Torres	21,6	21,7	20,9	18,6	15,9	13,7	12,8	13,5	15,3	17,1	18,2	20,3
Uruguiana	21,1	20,9	19,5	16,9	14,2	12,2	11,9	11,8	13,9	16,1	18,1	19,9
Temperatura máxima mensal, em °C												
Bagé	28,5	27,4	25,9	22,2	18,5	15,8	15,3	17,2	19,1	22,1	24,6	27,0
Bento Gonçalves	26,5	25,8	24,3	21,3	17,8	16,1	15,8	17,4	18,8	21,3	23,5	25,5
Bom Jesus	23,5	23,8	22,2	19,3	16,1	14,7	14,7	16,0	17,1	19,0	20,8	23,0
Caxias do Sul	25,6	24,9	23,4	20,2	16,9	15,2	15,3	16,6	18,0	20,1	22,3	24,7
Cruz Alta	28,3	27,5	26,0	23,1	19,6	17,3	16,7	18,9	20,4	23,4	26,0	27,8
Encruzilhada do Sul	27,5	26,5	24,7	21,5	17,9	15,5	15,1	16,4	18,3	21,1	23,5	26,2
Iraí	30,8	30,5	29,0	25,6	21,9	19,7	19,7	22,0	23,3	26,1	28,1	29,4
Lagoa Vermelha	26,3	26,1	24,4	21,7	18,2	16,3	16,5	17,3	18,8	21,4	23,6	25,4
Passo Fundo	27,3	26,6	25,3	22,3	18,8	16,7	16,4	18,3	19,5	22,5	25,0	26,8
Pelotas	27,4	26,9	25,8	22,7	19,1	16,5	15,7	16,6	18,3	21,3	23,5	25,7
Porto Alegre	29,4	28,8	27,1	24,0	20,4	17,8	17,8	19,0	20,5	23,3	25,7	28,0
Rio Grande	25,9	25,7	24,7	21,8	18,6	15,4	14,8	15,8	17,4	19,9	22,3	24,7
Santa Maria	29,4	28,6	26,8	23,9	20,2	17,4	17,1	18,8	20,5	23,6	26,0	28,5
Santa Vitória do Palmar	26,8	26,2	25,1	21,8	18,1	15,0	14,1	15,6	17,4	19,9	22,6	24,7
Santana do Livramento	28,6	27,1	25,4	21,9	18,0	15,6	15,4	16,8	18,7	22,0	24,3	26,8
São Luiz Gonzaga	30,4	29,9	27,8	24,8	21,2	18,6	18,3	20,3	22,2	25,1	27,6	29,7
Torres	25,0	25,4	24,9	22,9	20,1	17,7	17,0	17,5	18,3	20,5	22,2	24,0
Uruguiana	30,7	29,0	27,4	23,9	20,3	17,5	16,7	19,1	21,1	24,2	26,7	29,0

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

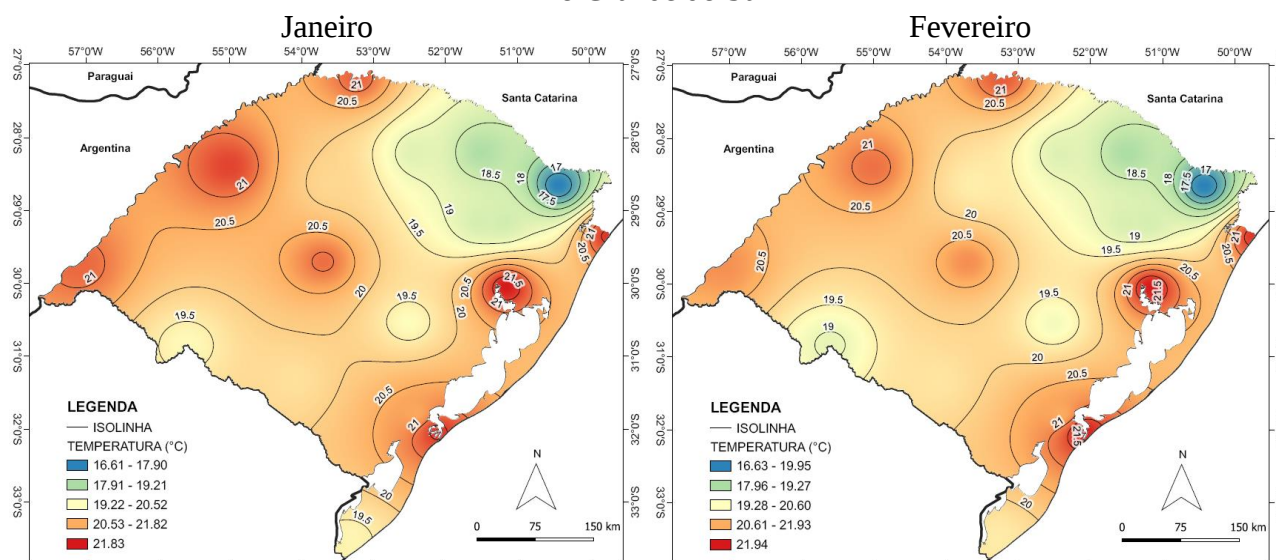
Figura 2: A área hachurada, na figura à esquerda, representa que a probabilidade de a temperatura mínima mensal ser menor ou igual a 19,7°C no mês de janeiro em Bagé, Rio Grande do Sul, é de 90% e na figura à direita representa que a probabilidade de a temperatura máxima mensal ser maior ou igual a 28,5°C no mês de janeiro em Bagé, Rio Grande do Sul, é de 90%



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

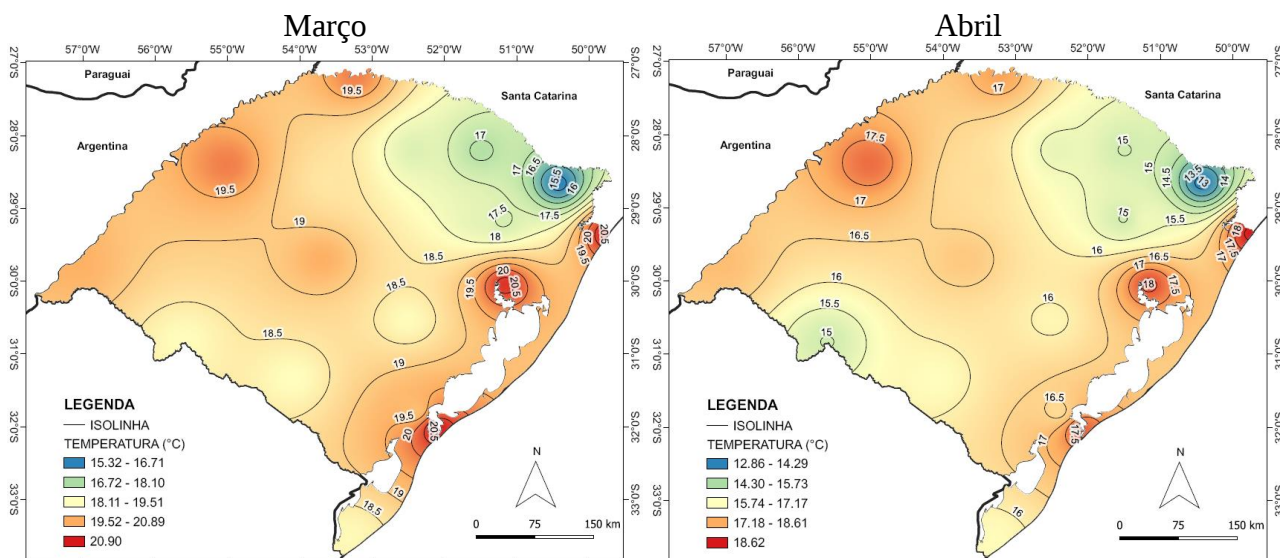
Com os valores de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ (Tabela 4) e as respectivas coordenadas geográficas de cada município (Tabela 1) foram elaborados 12 mapas para $T_{mín}$ e 12 mapas para $T_{máx}$, ou seja, um mapa para cada mês (Figuras 3 a 14). Nos mapas foram interpoladas isolinhas com diferença de 0,5°C entre si. Para os mapas da $T_{mín}$ (Figuras 3 a 8) uma isolinha de 20°C, por exemplo, significa que há 90% de probabilidade de que a $T_{mín}$ seja menor ou igual a 20°C. Para os mapas da $T_{máx}$ (Figuras 9 a 14) uma isolinha de 30°C, por exemplo, significa que há 90% de probabilidade de que a $T_{máx}$ seja maior ou igual a 30°C. Assim, para cada mês do ano, identifica-se nessas mapas regiões em que as $T_{mín}$ e $T_{máx}$ podem prejudicar ou favorecer os cultivos agrícolas no Rio Grande do Sul.

Figura 3: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de janeiro e fevereiro no Rio Grande do Sul



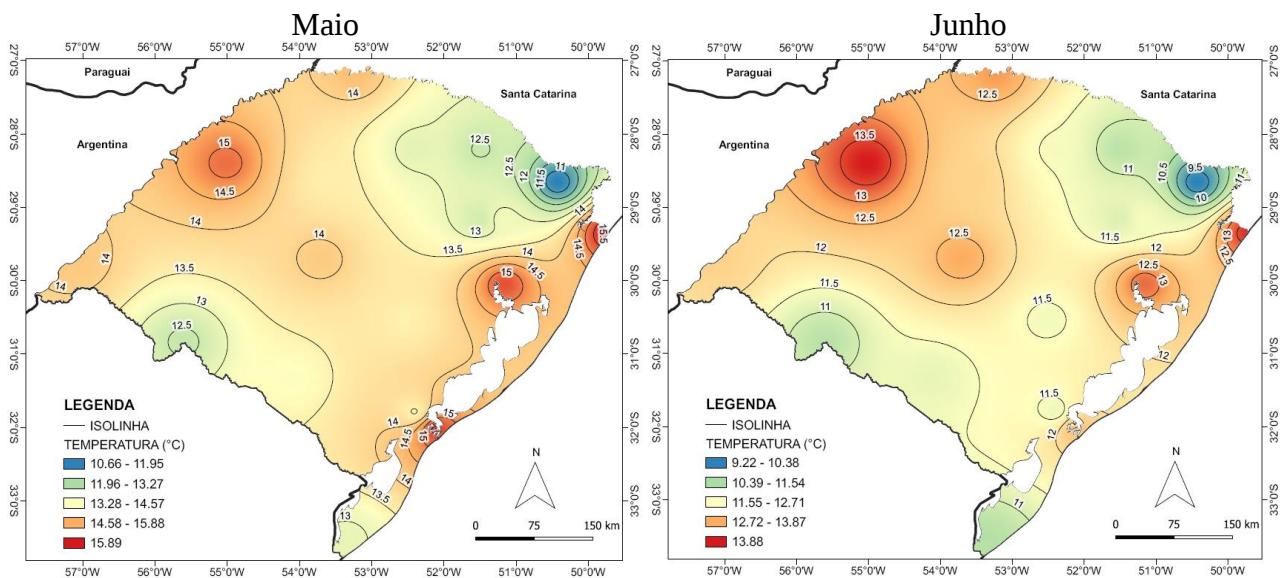
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 4: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de março e abril no Rio Grande do Sul



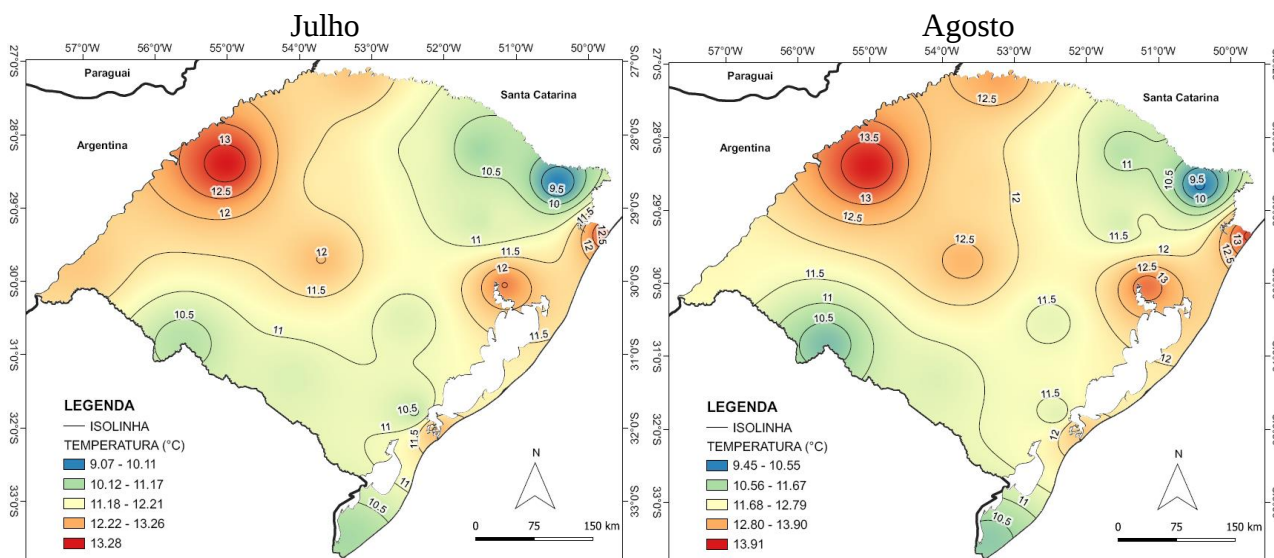
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 5: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de maio e junho no Rio Grande do Sul



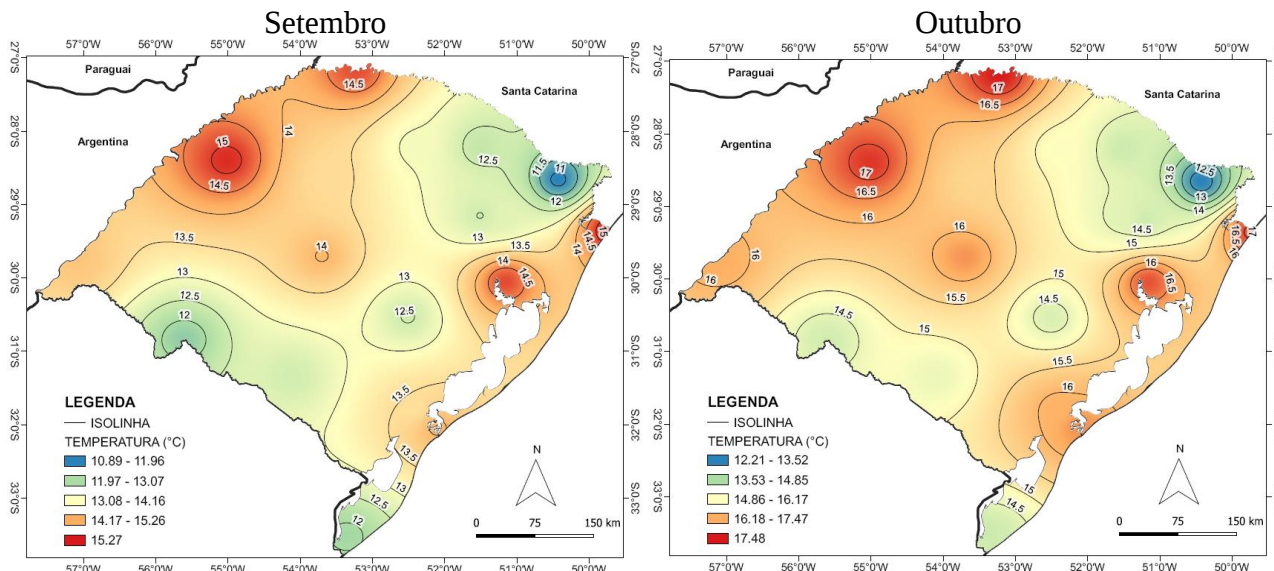
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 6: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de julho e agosto no Rio Grande do Sul



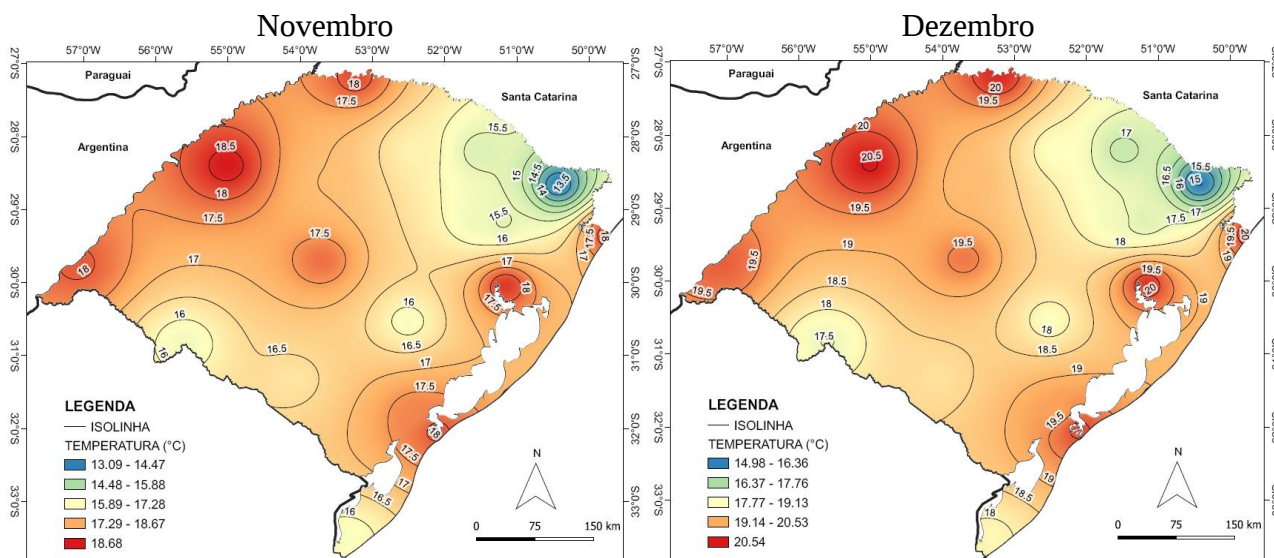
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 7: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de setembro e outubro no Rio Grande do Sul



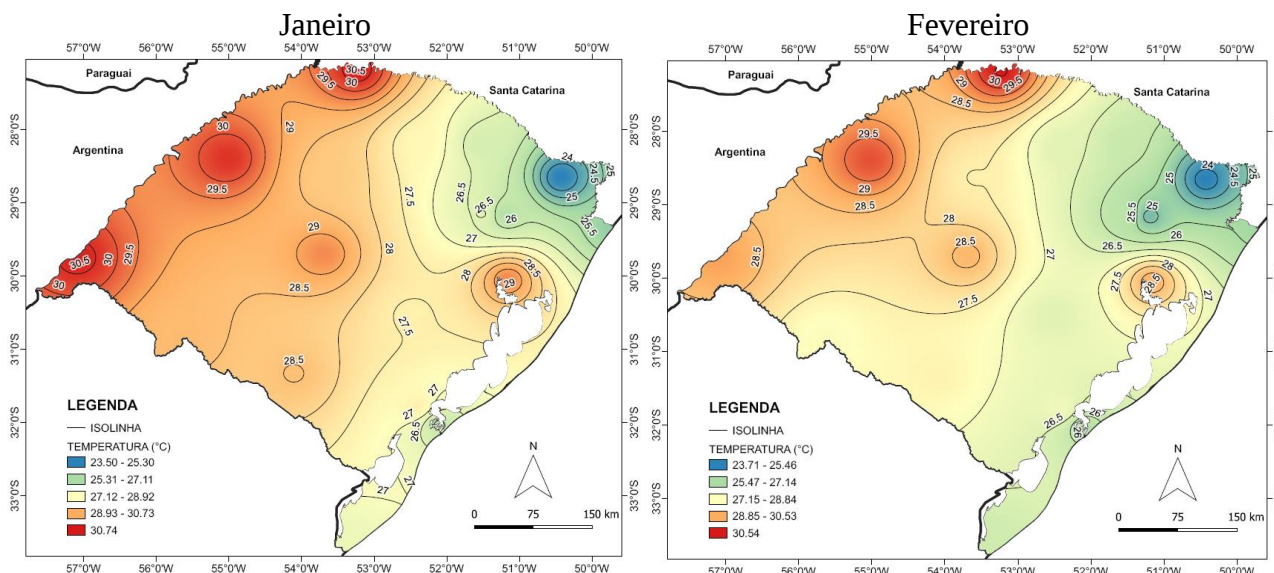
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 8: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas mínimas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de novembro e dezembro no Rio Grande do Sul



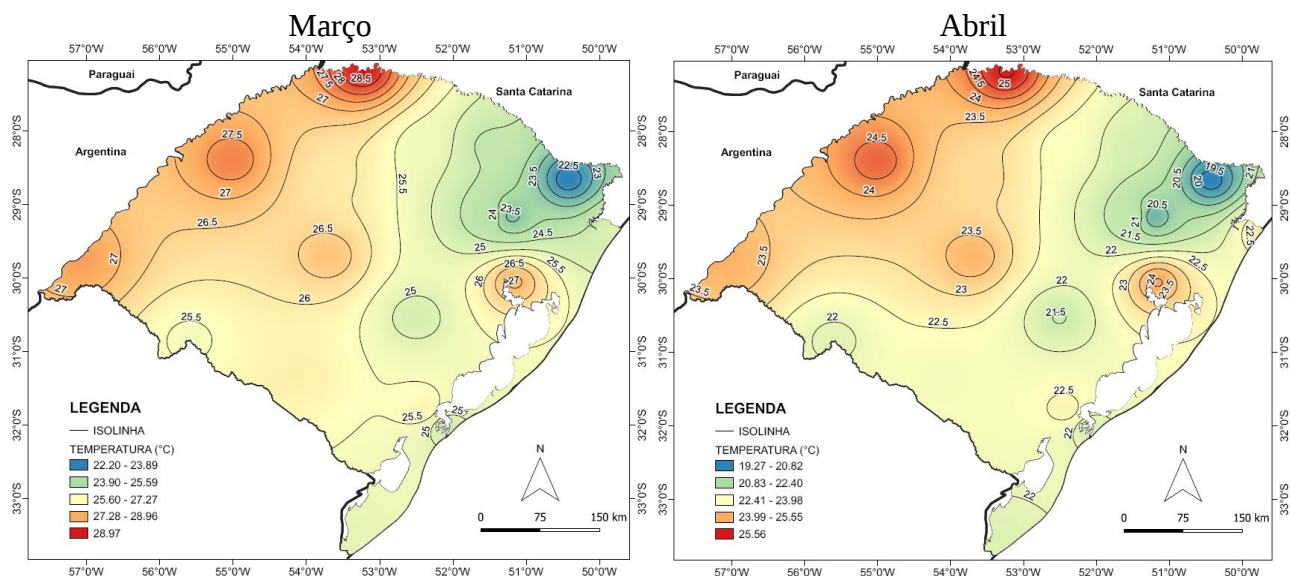
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 9: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de janeiro e fevereiro no Rio Grande do Sul



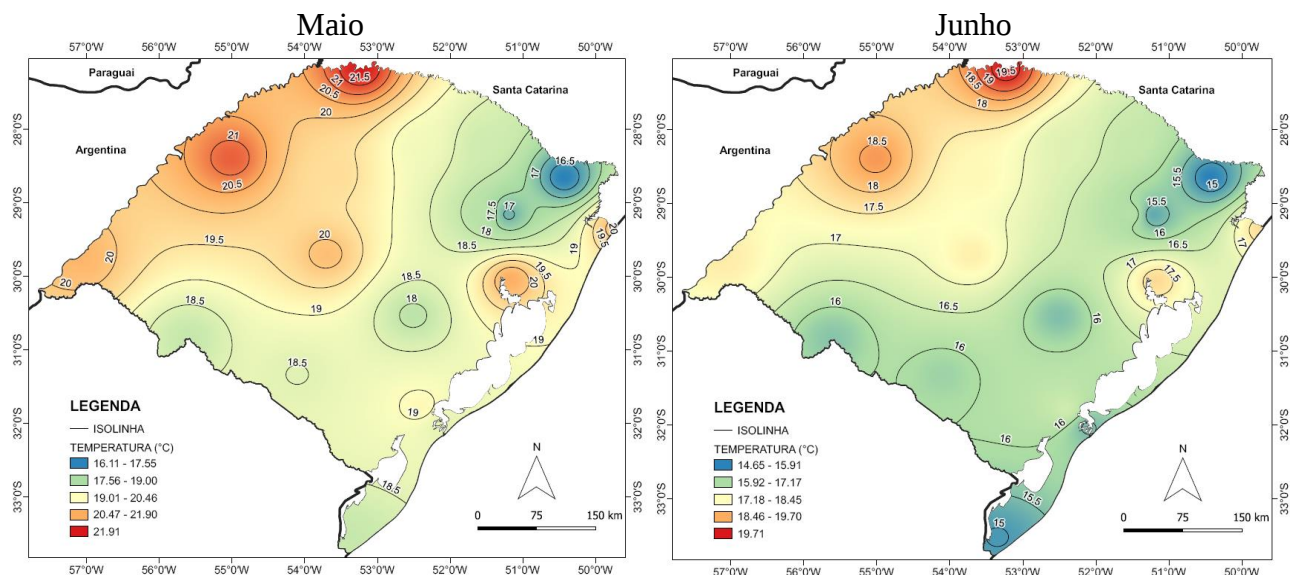
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 10: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de março e abril no Rio Grande do Sul



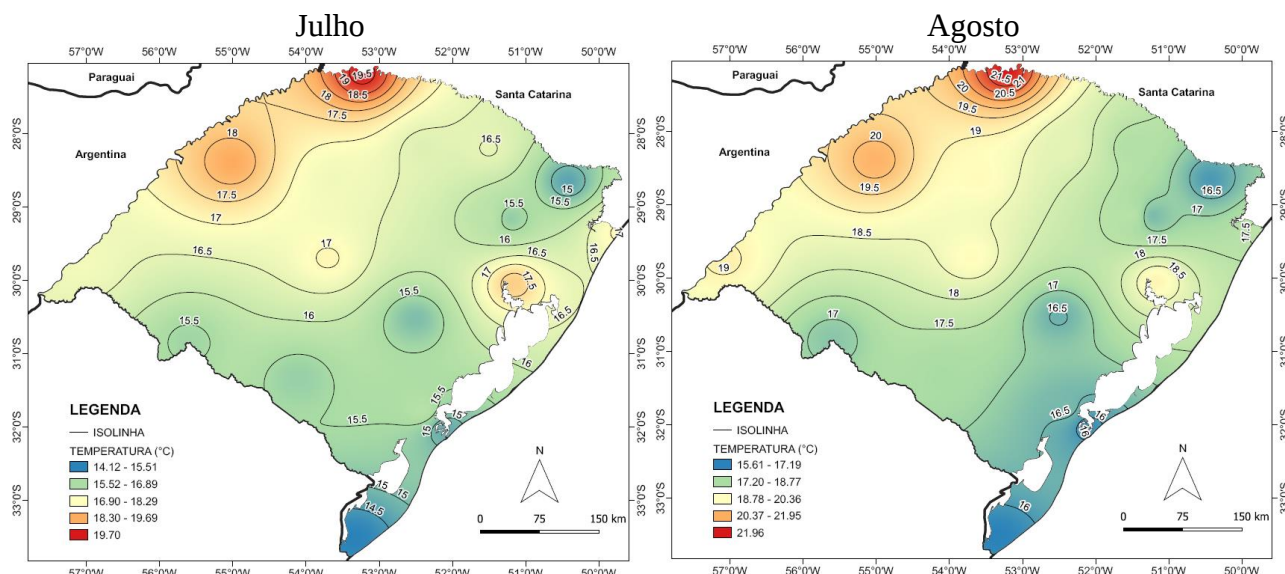
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 11: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de maio e junho no Rio Grande do Sul



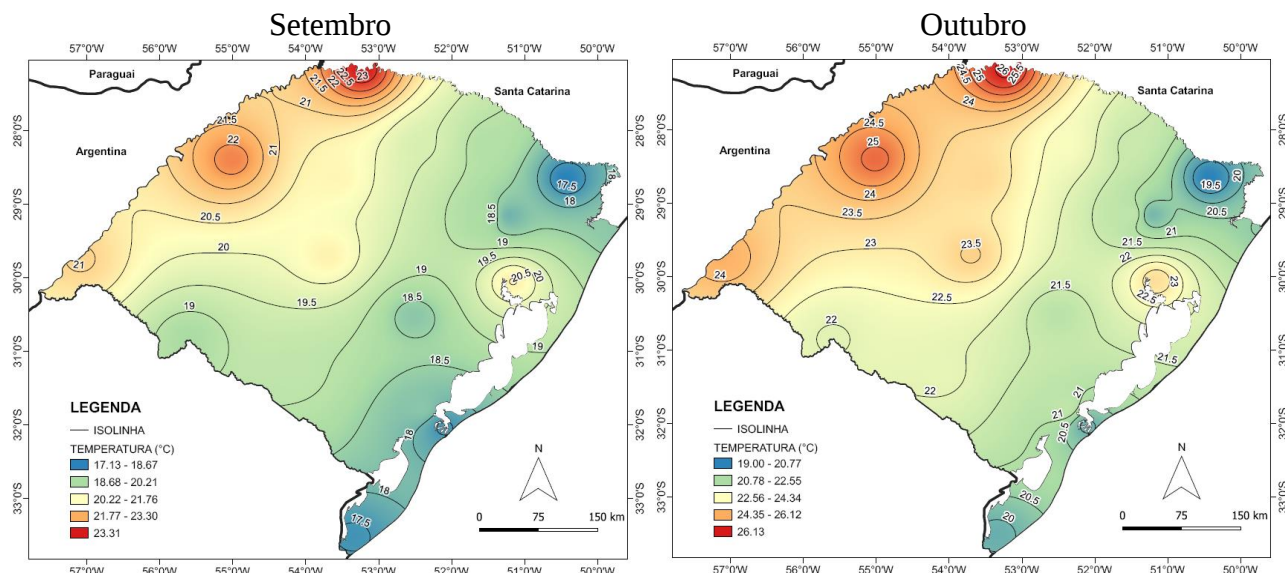
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 12: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de julho e agosto no Rio Grande do Sul



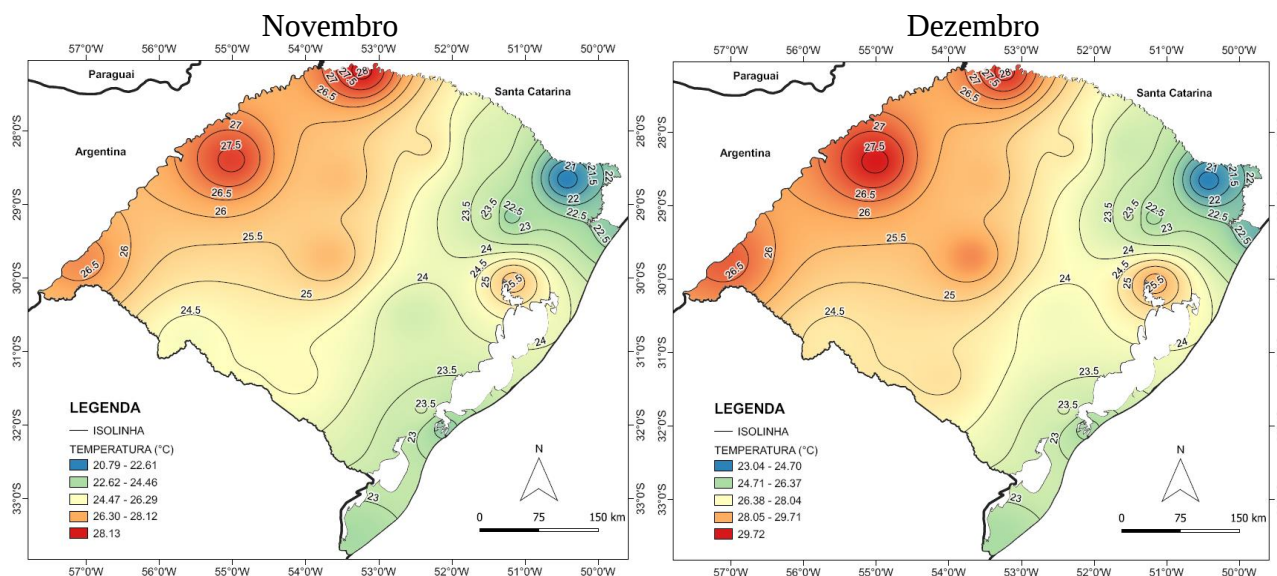
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 13: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de setembro e outubro no Rio Grande do Sul



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Figura 14: Mapas de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou inferiores ao valor de temperatura das isolinhas, para os meses de novembro e dezembro no Rio Grande do Sul

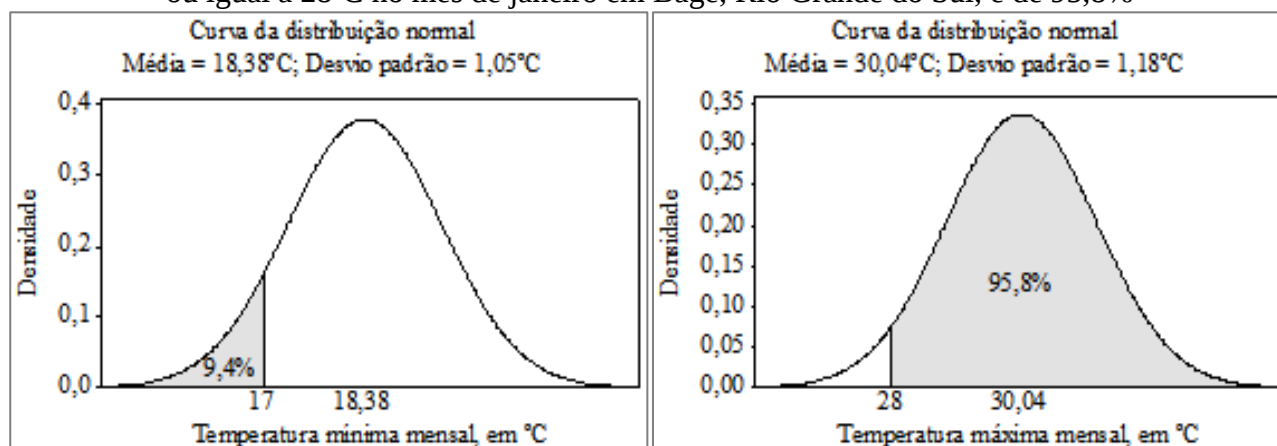


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Ao interpretar os mapas de $T_{mín}$ (Figuras 3 a 8) percebe-se que as regiões Nordeste e Sudoeste seriam mais favoráveis as culturas exigentes em frio, tais como a macieira (PUTTI; PETRI; MENDEZ, 2003), quando comparadas as demais regiões do Estado do Rio Grande do Sul (RS). Em relação aos mapas de $T_{máx}$ (Figuras 9 a 14) visualiza-se que as regiões Norte, Noroeste e Oeste apresentariam maiores riscos de altas temperaturas em relação às demais regiões do RS. Por exemplo, as culturas de nectarina e pêssigo que apresentam temperaturas basais máximas maiores ou iguais a 28°C (SOUZA; LEONEL; SILVA, 2011) apresentariam maiores restrições ao seu cultivo nas regiões Norte, Noroeste e Oeste. Com base nesses mapas, raciocínios similares a esses poderiam ser realizados para outras culturas agrícolas de interesse para o RS.

Outra abordagem que o leitor pode realizar é a seguinte: a partir das médias (Tabela 2) e desvios padrão (Tabela 3) e com base na distribuição normal, é possível calcular probabilidades de ocorrência de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ abaixo, acima ou em um intervalo de valores. Por exemplo, determinada cultura agrícola, é favorecida com $T_{mín}$ inferior a 17°C. Então, para o mês de janeiro, em Bagé, aplicando-se a função $DIST.NORM(x;média;desv_padrão;cumulativo)$, do aplicativo Microsoft Office Excel®, ou seja, $DIST.NORM(17;18,38;1,05;VERDADEIRO)$ obtém-se 9,4%. Isso significa que no mês de janeiro, em Bagé, a probabilidade dessa cultura ser favorecida, ou seja, de ocorrência de $T_{mín}$ menor ou igual a 17°C é de apenas 9,4% (Figura 15). Outro exemplo seria para determinada cultura agrícola que seja prejudicada com $T_{máx}$ superiores a 28°C. Nesse caso, para o mês de janeiro, em Bagé, aplicando-se a função $1-DIST.NORM(x;média;desv_padrão;cumulativo)$, ou seja, $1-DIST.NORM(28;30,04;1,18;VERDADEIRO)$ obtém-se 95,8%. Isso significa que no mês de janeiro, em Bagé, a probabilidade dessa cultura ser prejudicada, ou seja, de ocorrência de $T_{máx}$ maior ou igual a 28°C é de 95,8% (Figura 15). Raciocínio similar pode ser utilizado para os demais meses do ano e municípios.

Figura 15: A área hachurada, na figura à esquerda, representa que a probabilidade de a temperatura mínima mensal ser menor ou igual a 17°C no mês de janeiro em Bagé, Rio Grande do Sul, é de 9,4% e na figura à direita representa que a probabilidade de a temperatura máxima mensal ser maior ou igual a 28°C no mês de janeiro em Bagé, Rio Grande do Sul, é de 95,8%



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4. CONCLUSÕES

Os dados de temperatura mínima mensal do ar ($T_{mín}$) e de temperatura máxima mensal do ar ($T_{máx}$) se ajustam às distribuições normal, log-normal, gama e weibull, apresentando melhor aderência à distribuição normal. Os mapas com as isolinhas são úteis para verificar a probabilidade de ocorrência de $T_{mín}$ e $T_{máx}$ prejudicial ou favorável para culturas agrícolas no Estado do Rio Grande do Sul, durante os meses do ano.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - Processos 158513/2018-5; 131160/2019-2; e 304652/2017-2) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsas aos autores.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, E. M.; ARAÚJO, E. M.; OLIVEIRA, J. B.; SILVA, M. G.; VIANA, P. C.; ALVES, A. S. Análise da aderência de distribuições de probabilidade aos dados de temperatura máxima e mínima do ar em Iguatu-CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 23, n. 3, p. 104-109, jul-set. 2010a.
- ARAÚJO, E. M.; SILVA, I. N.; OLIVEIRA, J. B.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; ALMEIDA, B. M. Aplicação de seis distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu – CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 36-45, jan-mar. 2010b. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20100005>
- ASSIS, J. P.; DOURADO NETO, D.; MANFRON, P. A.; MARTIN, T. N.; SPAROVEK, G.; TIMM, L. C. Ajuste de séries históricas de temperatura e radiação solar global diária às funções densidade de probabilidade normal e log-normal, em Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 113-121, 2004. Disponível em: <http://sbagro.org/files/biblioteca/1400.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2022.
- BLANK, D. M. P. O contexto das mudanças climáticas e as suas vítimas. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p. 157-172, mai-ago. 2015. <https://doi.org/10.4215/RM2015.1402.0010>

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 9ª ed., São Paulo: Saraiva, 2017. 568p.

CARGNELUTTI FILHO, A.; MATZENAUER, R.; TRINDADE, J. K. Ajustes de funções de distribuição de probabilidade à temperatura máxima do ar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 87-93, 2008. Disponível em: <http://revistapag.agricultura.rs.gov.br/ojs/index.php/revistapag/article/view/234>. Acesso em: 12 mar. 2022.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**, 2ª ed., Lavras: UFLA, 2009. 664p.

JAKOB, A. A. E.; YOUNG, A. F. O uso de métodos de interpolação espacial de dados nas análises sociodemográficas. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 15, 2006. Caxambu - MG. **Anais [...]** Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2006, p.1-22. Disponível em: <http://www.abep.org.br/publicacoes/index.php/anais/article/view/1530/1494>. Acesso em: 12 mar. 2022.

MORE. **Mecanismo online para referências, versão 2.0**. Florianópolis: UFSC: Rexlab, 2013. Disponível em: <http://www.more.ufsc.br/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

PUTTI, G. L.; PETRI, J. L.; MENDEZ, M. E. Temperaturas efetivas para a dormência da macieira (*Malus domestica* Borkh). **Revista Brasileira de Fruticultura**, [S.L.], v. 25, n. 2, p. 210-212, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452003000200006>

QGIS Development Team. **QGIS Geographic Information System**. Open-Source Geospatial Foundation Project, 2020. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>. Acesso em: 15 mar. 2022.

R Development Core Team. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2020. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SANSIGOLO, C. A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917-2006). **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 23, n. 3, p. 341-346, 2008.

SOUZA, A. P.; LEONEL, S.; SILVA, A. C. Basal temperature and thermal sum in phenological phases of nectarine and peach cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 46, n. 12, p. 1588-1596, dez. 2011.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**, 6ª ed., Porto Alegre: Artmed, 2017. 888p.



Informações sobre a Licença

Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.

License Information

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which allows for unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, as long as the original work is properly cited.