

PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DE TEMPERATURAS MÁXIMAS MENSAS PREJUDICIAIS E FAVORÁVEIS AOS CULTIVOS AGRÍCOLAS EM MINAS GERAIS¹

Probability of occurrence of harmful and favourable monthly maximum temperatures for crops in Minas Gerais

Rodrigo de Moraes Borges

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia pelo Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
rodrigo.moraisb@hotmail.com

Alberto Cargnelutti Filho

Doutor em Agronomia, Professor Associado, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
alberto.cargnelutti.filho@gmail.com

Murilo Vieira Loro

Engenheiro Agrônomo, Discente do Curso de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, Brasil
muriloloro@gmail.com

Recebido: 16.03.2022

Aceito: 20.06.2022

Resumo

Os objetivos deste trabalho foram verificar o ajuste de séries temporais de temperatura máxima mensal do ar (Tmax), de 47 municípios de Minas Gerais, às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama e weibull; determinar, para cada série temporal, o valor de Tmax cuja probabilidade de ocorrência de Tmax maior ou igual a esse valor é de 90%; e elaborar mapas com isolinhas. Nas 564 séries de dados (47 municípios × 12 meses) de Tmax aplicou-se o teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* e determinou-se o valor de Tmax cuja probabilidade de ocorrência de Tmax maior ou igual a esse valor é de 90%. Os dados de Tmax se ajustam às distribuições normal, log-normal, gama e weibull. As estimativas dos parâmetros da distribuição normal (média e desvio padrão) podem ser utilizadas para determinar o valor de Tmax cuja probabilidade de ocorrência de Tmax maior ou igual a esse valor é de 90% e, para posterior elaboração de mapas com a interpolação desses valores de Tmax em isolinhas. As isolinhas são úteis para verificar a probabilidade de ocorrência de Tmax prejudicial ou favorável para culturas agrícolas.

Palavras-chave: séries temporais; distribuição de probabilidade; redução de riscos.

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Santa Maria.

Abstract

The objectives of this work were to verify the adjustment of times series for monthly maximum temperature air (Tmax) from 47 cities in the Minas Gerais to the standard, log-normal, gamma and Weibull probability distribution functions; determine, for each time series, the value of Tmax whose probability of occurrence of Tmax greater or equal to this value is 90%; and create maps with isolines. In the 564 data series (47 cities × 12 months) of Tmax, the *Kolmogorov-Smirnov* test was applied, and the value of Tmax was determined whose probability of occurrence of Tmax greater or equal to this value is 90%. The data of Tmax adjust to the normal, log-normal, gamma, and Weibull distributions. The estimates of the parameters of the normal distribution (mean and standard deviation) can be used to determine the value of Tmax whose probability of occurrence of Tmax greater or equal to this value is 90% and, for the later elaboration of maps with the interpolation of these values of Tmax in isolines. Isolines help verify the probability of harmful or favourable Tmax for crops.

Keywords: times series; probability distribution; risk reduction.

1. INTRODUÇÃO

A temperatura do ar interfere no crescimento e desenvolvimento das plantas por meio de alterações na taxa fotossintética, nas reações metabólicas, na respiração, na absorção de água e nas modificações da membrana plasmática, sendo importante para o desempenho agrônomo das plantas (TAIZ *et al.*, 2017).

Temperaturas do ar abaixo da basal inferior ou acima da basal superior podem ocasionar prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas. Souza, Leonel e Silva (2011), ao avaliar uma cultivar de nectarina e 14 cultivares de pêssigo, 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. Enquanto que as temperaturas basais mínimas oscilaram entre 8°C a 14°C.

Em pesquisa com cultura da mangueira, cultivar Tommy Atkins foram constatadas temperaturas basais inferior e superior de 13°C e 32°C, respectivamente (RODRIGUES; SOUZA; LIMA, 2013). Farias *et al.* (2015) determinaram que as temperaturas basais inferior e superior de feijão-caupi, cultivar BR3 Tracuateua, são 8,55°C e 38°C, respectivamente. Foram determinadas temperaturas basais inferior de 4,9°C e 7,2°C e superior de 38,8°C e 36,8°C, respectivamente, para os estágios de maturidade e ciclo total de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (MORAES *et al.*, 2019).

Diante dessas temperaturas basais das culturas é importante calcular probabilidades de ocorrência de eventos extremos de temperatura, a fim de identificar as regiões e os meses do ano em que as temperaturas possam ser prejudiciais ou favoráveis ao cultivo.

A partir de séries temporais de dados de temperatura do ar é possível investigar, por meio de teste de aderência, o ajuste de distribuições de probabilidade, tais como a normal, log-normal, gama e weibull. Após, com base nas estimativas dos parâmetros de determinada distribuição 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 (ASSIS *et al.*, 2004; CARGNELUTTI FILHO; MATZENAUER; TRINDADE, 2008; SANSIGOLO *et al.*, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2010a; ARAÚJO *et al.*, 2010b).

Com as coordenadas geográficas de locais representativos, espacialmente bem distribuídos de uma região, é possível utilizar o método da ponderação do inverso das distâncias (*Inverse Distance Weighted* - IDW) para a interpolação e produção de isolinhas de probabilidade em um mapa dessa região (JAKOB; YUNG, 2006). Esses mapas podem ser utilizados no planejamento de atividades agrícolas.

Os objetivos deste trabalho foram verificar o ajuste de séries temporais de temperatura máxima mensal do ar (Tmax), de 47 municípios de Minas Gerais, às funções de distribuições de probabilidade normal, log-normal, gama e weibull; determinar, para cada série temporal, o valor de Tmax cuja probabilidade de ocorrência de Tmax maior ou igual a esse valor é de 90% e elaborar mapas com isolinhas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados os dados de temperatura máxima mensal do ar (Tmax, em °C) de 47 estações meteorológicas, localizadas em 47 municípios do Estado de Minas Gerais. Esses dados foram obtidos do banco de dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), referentes ao período de janeiro de 1961 a dezembro de 2019, totalizando 59 anos de observações. A Tmax corresponde à média das temperaturas máximas diárias do mês.

Foram formadas 564 séries temporais de Tmax (47 municípios × 12 meses), com número diferenciado de anos de observações em cada série em função da disponibilidade dos dados meteorológicos (Tabela 1 e Figura 1).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas das estações meteorológicas localizadas em 47 municípios do Estado de Minas Gerais, período de coleta dos dados de temperatura máxima mensal e número de observações (mínimo, máximo e médio) entre as 12 séries (meses) de dados, em cada município.

Município	Coordenadas			Período	Número de observações		
	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)		Mínimo	Máximo	Médio
Aimorés	-19°29'24"	-41°04'12"	82,74	1972-2014	35	40	38
Araçuaí	-16°49'48"	-42°02'60"	289,00	1961-2019	46	54	51
Araxá	-19°36'00"	-46°56'24"	1023,61	1965-2019	42	46	44
Arinos	-15°54'36"	-46°06'00"	519,00	1976-2019	35	39	38
Bambuí	-20°01'48"	-45°00'00"	661,27	1961-2018	40	44	42
Barbacena	-21°15'00"	-43°45'36"	1126,00	1961-2012	43	48	46
Belo Horizonte	-19°55'48"	-43°55'48"	915,00	1961-2019	54	55	55
Bom Despacho	-19°40'48"	-45°21'36"	695,00	1981-2019	30	34	32
Caparaó	-20°30'36"	-41°53'60"	843,18	1973-2018	30	36	33
Capinópolis	-18°42'36"	-49°32'60"	620,00	1970-2018	37	42	40
Caratinga	-19°43'48"	-42°07'48"	609,65	1961-2019	43	50	48
Carbonita	-17°31'48"	-43°00'00"	736,38	1981-2019	34	36	35
Conceição do Mato Dentro	-19°01'12"	-43°25'48"	652,00	1961-2019	48	55	52
Coronel Pacheco	-21°33'00"	-43°15'36"	435,00	1966-2009	36	40	38
Curvelo	-18°45'00"	-44°27'00"	672,00	1961-2019	42	46	45
Diamantina	-18°13'48"	-43°38'24"	1296,12	1961-2017	36	40	39
Divinópolis	-20°10'12"	-44°52'12"	788,35	1995-2019	21	25	23
Espinosa	-14°54'36"	-42°47'60"	569,64	1974-2019	40	42	41
Florestal	-19°52'48"	-44°24'36"	760,00	1961-2018	49	55	53
Formoso	-14°55'48"	-46°15'00"	840,00	1976-2016	17	33	30
Frutal	-20°01'48"	-48°55'48"	543,93	1961-2013	36	40	37
Ibirité	-20°00'36"	-44°02'60"	814,54	1961-2015	36	40	38
Itamarandiba	-17°51'00"	-42°51'00"	914,00	1962-2019	46	51	49
Ituiutaba	-18°56'60"	-49°31'12"	560,00	1980-2013	24	27	25
Janaúba	-15°48'00"	-43°17'24"	516,00	1977-2016	30	34	32
João Pinheiro	-17°43'48"	-46°10'12"	760,36	1961-2014	37	47	43
Juiz de Fora	-21°45'36"	-43°21'36"	939,96	1961-2019	46	53	50
Juramento	-16°46'12"	-43°39'36"	648,00	1987-2019	27	31	29
Lambari	-21°56'24"	-45°18'36"	878,45	1976-2011	26	29	28
Lavras	-21°45'00"	-45°00'00"	918,84	1961-2019	48	51	50
Machado	-21°40'48"	-45°56'24"	873,35	1961-2019	50	54	52
Mocambinho	-15°04'48"	-44°00'36"	452,00	1976-2012	28	31	30
Monte Azul	-15°09'36"	-42°51'36"	625,00	1974-2015	34	35	35
Montes Claros	-16°40'48"	-43°50'24"	652,00	1961-2019	39	41	41
Paracatu	-17°14'24"	-46°52'48"	712,00	1973-2019	33	37	35
Patos de Minas	-18°30'36"	-46°31'48"	940,28	1961-2018	48	51	50
Pedra Azul	-16°00'00"	-41°16'48"	648,00	1972-2014	33	37	35
Pirapora	-17°21'00"	-44°54'36"	505,24	1961-2016	42	47	45
Poços de Caldas	-21°54'36"	-46°22'48"	1150,00	1961-2015	43	47	45
Pompeu	-19°12'36"	-45°00'00"	690,91	1973-2015	34	38	37
Salinas	-16°08'60"	-42°16'48"	471,32	1961-2019	41	43	42
São Lourenço	-22°06'00"	-45°00'36"	953,20	1961-2019	47	52	50
São Sebastião do Paraíso	-20°54'36"	-47°06'36"	820,00	1961-2012	25	33	30
Sete Lagoas	-19°27'36"	-44°15'00"	732,00	1961-2015	44	46	45
Uberaba	-19°43'48"	-47°57'00"	737,00	1961-2018	46	51	49
Unaí	-16°21'36"	-46°52'48"	460,00	1978-2019	36	40	38
Viçosa	-20°45'36"	-42°51'36"	712,20	1961-2018	44	49	47
Todos os municípios					17	55	41

Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Elaborado pelos autores, 2022.

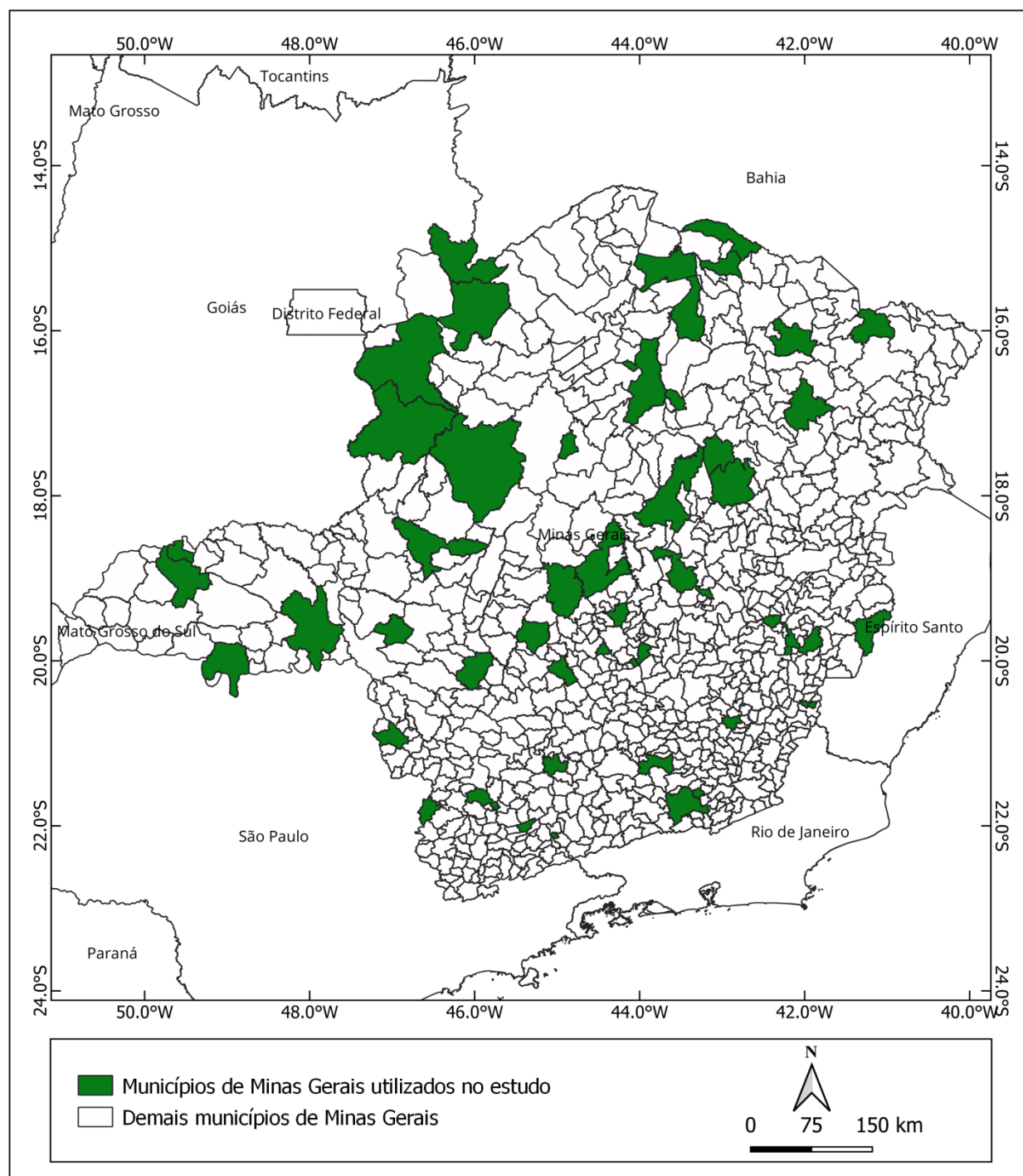


Figura 1 - Mapa do Estado de Minas Gerais (MG) com as 47 estações meteorológicas localizadas em 47 municípios. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2022.

Foi aplicado o teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* (BUSSAB; MORETTIN, 2017) em cada uma das 564 séries de dados de Tmax, para verificar o ajuste dos dados às distribuições normal, log-normal, gama e weibull (BUSSAB; MORETTIN, 2017; FERREIRA, 2009), totalizando 2.256 testes (564 séries de dados × 4 distribuições de probabilidade). Para cada uma das 564 séries de dados de Tmax foi calculada a média e

o desvio-padrão, cujas estimativas foram utilizadas nos cálculos de probabilidade com base na distribuição normal.

Para cada município e mês do ano (564 séries de dados), 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 0,10 ou 10%; *média* é a média da temperatura máxima mensal da série de dados; e *desv_padrao* é o desvio padrão da temperatura máxima mensal da série de dados. Essa função retorna o valor de temperatura máxima mensal cuja probabilidade de ocorrência de temperatura máxima mensal 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. A partir dos valores interpolados foram extraídas 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), com o uso do software de sistema de informação geográfica QGIS 3.12.3 (QGIS Development Team, 2020). Dessa forma, foram obtidos 12 mapas (um mapa para cada mês do ano).

As análises estatísticas foram realizadas com auxílio do aplicativo Microsoft Office Excel® e dos softwares R (R Development Core Team, 2020) e QGIS 3.12.3 (QGIS Development Team, 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias do valor-p do teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* (BUSSAB; MORETTIN, 2017) aplicado nas 564 séries de dados de temperatura máxima mensal do ar (Tmax, em °C) (47 municípios × 12 meses) foram 0,7818, 0,7779, 0,7834 e 0,6111, respectivamente, para as distribuições normal, log-normal, gama e weibull. Em 564, 564, 564 e 561 séries de dados, respectivamente, para as distribuições normal, log-normal, gama e weibull, o valor-p foi maior que 0,05. Interpreta-se que quanto maior o valor-p, maior é a aderência dos dados à curva da distribuição em teste (BUSSAB; MORETTIN, 2017). Assim, pode-se inferir que os dados de Tmax apresentaram bons ajustes a essas quatro distribuições de probabilidade, podendo-se optar pela distribuição normal, principalmente, pelo seu maior uso e facilidades na obtenção das estimativas dos parâmetros e nos cálculos de probabilidade. Além disso, pesquisas têm evidenciado que dados de temperatura do ar tem boa aderência à curva da distribuição normal (ASSIS et

al., 2004; CARGNELUTTI FILHO; MATZENAUER; TRINDADE, 2008; SANSIGOLO *et al.*, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2010a; ARAÚJO *et al.*, 2010b).

Para cada uma das 564 séries de dados de Tmax foi calculada a média (Tabela 2) e o desvio-padrão (Tabela 3), cujas estimativas foram utilizadas nos cálculos de probabilidade com base na distribuição normal. Assim, por exemplo, para a série de dados de Tmax do município de Aimorés no mês de janeiro a média foi 33,30°C (Tabela 2) e o desvio padrão foi 1,77°C (Tabela 3).

Tabela 2 - Médias de temperatura máxima mensal, em °C, em municípios do estado de Minas Gerais.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aimorés	33,30	34,37	33,88	32,25	30,58	29,57	29,31	30,12	30,67	31,53	31,65	32,34
Araçuaí	33,10	33,88	33,52	32,18	30,62	29,48	29,15	30,65	32,14	32,92	31,65	32,01
Araxá	27,93	28,47	28,05	27,37	25,78	25,01	25,10	27,16	28,32	28,70	27,58	27,44
Arinos	32,31	32,61	32,37	32,20	31,10	30,38	30,63	32,43	34,30	34,64	32,11	31,67
Bambuí	29,93	30,27	29,96	29,13	27,15	26,35	26,44	28,65	29,80	30,34	29,43	29,32
Barbacena	26,57	27,11	26,47	24,94	22,95	22,29	22,09	23,72	24,33	25,02	25,26	25,90
Belo Horizonte	28,45	28,90	28,53	27,56	25,81	24,95	24,74	26,37	27,61	28,09	27,63	27,82
Bom Despacho	30,88	31,34	30,57	29,99	28,05	27,44	27,70	29,40	30,71	31,27	30,30	30,33
Caparaó	28,12	28,96	28,17	26,80	24,73	24,08	23,82	25,04	25,52	26,48	26,75	27,56
Capinópolis	30,40	31,07	31,09	30,79	29,09	28,55	29,03	31,29	32,54	32,61	31,33	30,66
Caratinga	29,13	29,99	29,36	27,96	26,24	25,36	25,34	26,50	27,45	28,17	27,95	28,61
Carbonita	29,95	30,57	29,77	28,57	26,98	25,92	25,96	27,48	29,21	30,06	28,95	29,03
Conceição do Mato Dentro	29,88	30,29	29,70	28,33	26,43	25,42	25,35	27,01	28,18	29,02	28,69	29,13
Coronel Pacheco	30,29	31,02	30,25	28,50	26,62	25,88	25,59	26,86	27,07	28,44	28,66	29,42
Curvelo	30,91	31,90	31,50	30,85	29,18	28,39	28,23	29,91	31,51	31,64	30,50	30,24
Diamantina	25,41	25,79	25,46	24,33	22,64	21,79	21,43	23,11	24,33	25,14	24,66	25,01
Divinópolis	30,35	30,96	30,20	29,41	27,16	26,55	26,83	28,60	30,11	30,57	29,19	29,77
Espinosa	31,20	31,84	31,71	31,07	30,39	29,18	28,94	30,36	31,94	32,59	31,02	30,87
Florestal	29,66	30,33	29,95	29,03	27,15	26,27	26,38	28,20	29,52	29,61	29,06	29,04
Formoso	30,17	30,73	30,48	30,29	29,63	28,88	29,26	30,78	32,11	32,32	30,15	29,87
Frutal	31,63	31,85	32,20	31,65	29,52	29,37	29,39	31,77	32,86	32,72	32,17	31,65
Ibirité	29,20	29,89	29,48	28,41	26,67	25,71	25,67	27,42	28,44	28,95	28,83	28,72
Itamarandiba	28,10	28,49	28,04	26,50	25,02	24,07	23,72	25,22	26,65	27,42	26,82	27,39
Ituiutaba	31,48	32,13	31,67	31,51	29,64	29,02	29,86	31,87	33,32	33,23	32,10	31,55
Janaúba	31,87	32,59	32,44	31,84	30,96	29,60	29,67	30,91	32,63	33,50	31,96	31,59
João Pinheiro	29,45	30,20	29,92	29,61	28,43	27,67	27,61	29,50	30,98	31,11	29,83	29,13
Juiz de Fora	27,29	28,08	26,94	25,14	23,01	22,25	22,20	23,47	24,20	25,07	25,41	26,51
Juramento	30,44	30,74	30,35	29,99	29,11	28,07	27,91	29,24	31,25	32,11	30,07	29,57
Lambari	29,23	30,08	29,37	27,94	25,41	24,12	24,57	26,64	27,24	28,69	28,83	28,81
Lavras	28,51	29,08	28,55	27,28	25,07	24,40	24,53	26,50	27,64	28,07	27,75	27,94
Machado	28,89	29,36	28,84	27,59	25,27	24,32	24,50	26,59	27,84	28,39	28,19	28,44
Moçambinho	32,08	32,69	32,23	32,34	31,55	30,75	30,74	32,17	33,70	34,16	32,01	31,67
Monte Azul	31,02	31,67	31,54	30,93	30,04	28,85	28,81	30,06	31,84	32,47	30,85	30,77
Montes Claros	30,27	30,77	30,50	30,09	29,06	28,24	28,02	29,55	31,21	31,53	29,87	29,56
Paracatu	30,38	30,70	30,29	29,87	28,50	27,88	28,04	29,98	31,73	32,14	30,20	29,84
Patos de Minas	28,37	28,86	28,63	28,06	26,71	26,11	26,23	28,37	29,61	29,46	28,18	27,85
Pedra Azul	29,96	30,77	30,24	28,78	27,29	25,98	25,47	26,46	27,84	29,07	28,86	29,56
Pirapora	30,99	31,95	31,71	31,17	30,01	29,25	29,31	31,02	32,77	33,03	31,36	30,62
Poços de Caldas	26,24	26,53	26,22	25,09	22,94	22,21	22,38	24,40	25,46	25,86	25,84	25,63
Pompeu	30,20	31,02	30,43	29,73	27,94	27,31	27,53	29,35	30,72	31,37	30,06	29,68
Salinas	31,50	32,08	31,86	30,54	29,31	28,21	28,13	29,74	31,45	32,19	30,80	30,99
São Lourenço	28,78	29,31	28,78	27,52	24,96	24,20	24,38	26,33	27,46	27,98	28,07	28,39
São Sebastião do Paraíso	28,20	28,67	28,45	28,11	25,88	24,96	25,50	27,56	29,21	28,90	28,62	27,98
Sete Lagoas	29,37	29,93	29,62	28,70	27,02	26,41	26,44	28,25	29,50	29,67	28,79	28,71
Uberaba	29,87	30,35	30,30	29,71	27,89	27,41	27,60	29,87	31,07	31,14	30,08	29,67
Unaí	31,53	31,96	31,56	31,26	30,29	29,57	29,83	31,62	33,50	33,80	31,50	31,07
Viçosa	28,68	29,27	28,57	27,00	24,94	24,07	24,02	25,63	26,31	27,01	27,12	27,92

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Tabela 3 - Desvios-padrão de temperatura máxima mensal, em °C, em municípios do estado de Minas Gerais.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aimorés	1,77	1,75	1,48	1,34	0,97	1,01	0,97	1,03	1,32	1,66	1,73	1,19
Araçuaí	1,91	2,07	1,66	1,51	1,20	1,10	1,06	1,11	1,44	1,95	1,87	1,82
Araxá	1,34	1,38	1,02	1,11	0,95	0,88	1,07	1,03	1,69	1,64	1,08	1,18
Arinos	1,49	1,52	1,22	1,39	1,04	1,03	1,01	0,89	1,43	2,02	1,70	1,48
Bambuí	1,22	1,44	1,03	1,02	0,72	0,80	1,55	1,05	1,73	1,67	1,21	1,22
Barbacena	1,47	1,40	1,06	1,26	1,04	1,24	1,39	1,45	1,90	1,80	1,37	1,30
Belo Horizonte	1,44	1,20	0,98	0,89	0,85	0,96	1,03	1,15	1,53	1,61	1,42	1,22
Bom Despacho	1,60	1,50	1,05	1,14	1,00	1,15	1,11	1,26	1,75	1,83	1,36	1,27
Caparaó	1,83	1,46	1,27	1,27	0,92	1,11	1,17	1,21	1,85	1,84	1,58	1,30
Capinópolis	1,25	1,29	1,31	1,34	1,22	1,02	1,43	1,43	1,77	1,92	1,40	1,31
Caratinga	1,58	1,33	1,16	1,28	0,92	0,96	0,91	0,93	1,47	1,74	1,53	1,13
Carbonita	1,47	1,28	1,21	1,38	1,06	0,99	1,11	1,03	1,55	1,89	1,91	1,51
Conceição do Mato Dentro	1,53	1,40	1,13	1,11	1,11	0,92	1,02	1,00	1,53	1,75	1,56	1,34
Coronel Pacheco	1,36	1,20	0,93	1,04	0,90	1,20	1,05	1,18	1,46	1,60	1,22	1,28
Curvelo	1,51	1,44	1,16	1,13	0,95	1,04	1,07	1,06	1,41	1,85	1,75	1,33
Diamantina	1,52	1,42	1,10	1,20	0,98	0,97	1,04	1,21	1,77	1,56	1,49	1,08
Divinópolis	1,22	1,28	0,82	0,83	0,68	0,89	0,99	0,94	1,47	1,62	1,36	1,09
Espinosa	1,78	1,84	1,54	1,53	1,15	1,05	0,90	0,83	1,23	1,61	1,78	1,65
Florestal	1,76	1,69	1,10	1,26	1,02	1,11	1,21	1,24	1,83	2,04	1,73	1,58
Formoso	1,53	1,50	1,38	1,34	1,19	1,04	0,95	0,79	1,29	1,98	1,66	1,35
Frutal	1,14	1,26	1,43	0,99	1,26	1,24	1,26	1,13	1,93	1,66	1,05	1,31
Ibirité	1,44	1,58	1,12	1,07	1,04	1,10	1,22	1,05	1,60	1,73	1,56	1,54
Itamarandiba	1,45	1,25	1,20	1,17	1,03	1,09	1,05	1,09	1,54	1,72	1,86	1,23
Ituiutaba	0,93	1,24	1,17	0,83	0,72	1,16	1,22	1,05	2,16	1,47	0,90	1,05
Janaúba	1,55	1,77	1,42	1,54	1,30	1,20	1,02	0,98	1,48	1,76	1,82	1,67
João Pinheiro	1,39	1,33	1,11	0,99	0,89	0,86	1,00	1,09	1,39	1,85	1,56	1,19
Juiz de Fora	2,00	1,53	1,56	1,58	1,35	1,42	1,30	1,58	2,15	1,88	1,61	1,76
Juramento	1,56	1,50	1,33	1,24	0,99	0,90	1,09	1,15	1,50	1,62	1,93	1,66
Lambari	1,47	1,71	1,30	1,48	0,92	1,11	1,12	1,39	2,20	1,58	1,27	1,35
Lavras	1,40	1,38	1,03	1,18	0,83	0,95	1,15	1,25	1,92	1,69	1,29	1,36
Machado	1,43	1,48	1,13	1,20	0,86	1,15	1,21	1,26	1,91	1,73	1,13	1,41
Moçambinho	1,61	1,80	1,26	1,28	1,28	1,07	0,80	0,83	0,98	1,67	1,88	1,32
Monte Azul	1,75	1,87	1,63	1,61	1,18	1,14	0,97	0,89	1,39	1,67	1,95	1,79
Montes Claros	1,67	1,47	1,38	1,36	0,96	0,92	0,91	0,86	1,29	1,79	1,87	1,71
Paracatu	1,17	1,33	1,07	1,30	0,96	0,93	1,07	0,90	1,42	1,86	1,53	1,14
Patos de Minas	1,33	1,37	1,05	1,03	0,93	0,88	1,08	1,02	1,60	1,97	1,43	1,32
Pedra Azul	1,27	1,63	1,27	1,29	1,22	0,97	0,95	0,92	1,27	1,45	1,46	1,40
Pirapora	1,57	1,62	1,08	1,18	0,97	0,94	1,03	1,01	1,50	2,01	1,84	1,68
Poços de Caldas	1,23	1,26	0,86	0,99	0,88	1,09	1,22	1,31	1,95	1,62	1,12	1,30
Pompeu	1,55	1,49	1,16	1,02	0,86	0,92	1,07	1,10	1,58	1,71	1,51	1,28
Salinas	1,70	1,81	1,63	1,82	1,37	1,24	1,15	0,99	1,53	1,85	2,00	1,71
São Lourenço	1,39	1,29	0,97	0,97	0,77	1,05	1,07	1,16	1,74	1,56	1,19	1,22
São Sebastião do Paraíso	1,35	1,64	1,44	1,37	1,14	1,25	1,57	1,18	1,84	1,77	1,17	1,31
Sete Lagoas	1,52	1,34	1,12	1,08	0,95	0,99	1,16	1,03	1,64	1,85	1,52	1,32
Uberaba	1,11	1,17	1,15	0,98	0,84	0,95	1,20	1,18	1,87	1,69	1,02	1,13
Unaí	1,39	1,28	1,09	1,22	1,02	1,05	1,05	1,03	1,59	1,95	1,55	1,40
Viçosa	1,70	1,45	1,13	1,32	0,92	1,04	1,11	1,03	1,69	1,81	1,43	1,38

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Aplicando-se a função INV.NORM (*probabilidade; média; desv_padrao*) do aplicativo Microsoft Office Excel®, ou seja, INV.NORM (0,10;33,30;1,77) obtém-se 31,0°C (Tabela 4). Isso significa que no mês de janeiro, em Aimorés, a probabilidade de ocorrência de temperatura máxima mensal maior ou igual a 31,0°C é de 90% (Figura 2).

Tabela 4 - Valor de temperatura máxima mensal, em °C, cuja probabilidade de ocorrência de temperatura máxima mensal maior ou igual a esse valor é de 90%, em municípios do estado de Minas Gerais.

Município	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Aimorés	31,0	32,1	32,0	30,5	29,3	28,3	28,1	28,8	29,0	29,4	29,4	30,8
Araçuaí	30,6	31,2	31,4	30,2	29,1	28,1	27,8	29,2	30,3	30,4	29,2	29,7
Araxá	26,2	26,7	26,7	26,0	24,6	23,9	23,7	25,8	26,2	26,6	26,2	25,9
Arinos	30,4	30,7	30,8	30,4	29,8	29,1	29,3	31,3	32,5	32,1	29,9	29,8
Bambuí	28,4	28,4	28,6	27,8	26,2	25,3	24,4	27,3	27,6	28,2	27,9	27,8
Barbacena	24,7	25,3	25,1	23,3	21,6	20,7	20,3	21,9	21,9	22,7	23,5	24,2
Belo Horizonte	26,6	27,4	27,3	26,4	24,7	23,7	23,4	24,9	25,7	26,0	25,8	26,3
Bom Despacho	28,8	29,4	29,2	28,5	26,8	26,0	26,3	27,8	28,5	28,9	28,6	28,7
Caparaó	25,8	27,1	26,5	25,2	23,6	22,7	22,3	23,5	23,1	24,1	24,7	25,9
Capinópolis	28,8	29,4	29,4	29,1	27,5	27,2	27,2	29,5	30,3	30,1	29,5	29,0
Caratinga	27,1	28,3	27,9	26,3	25,1	24,1	24,2	25,3	25,6	25,9	26,0	27,2
Carbonita	28,1	28,9	28,2	26,8	25,6	24,7	24,5	26,2	27,2	27,6	26,5	27,1
Conceição do Mato Dentro	27,9	28,5	28,3	26,9	25,0	24,2	24,0	25,7	26,2	26,8	26,7	27,4
Coronel Pacheco	28,5	29,5	29,1	27,2	25,5	24,3	24,2	25,4	25,2	26,4	27,1	27,8
Curvelo	29,0	30,1	30,0	29,4	28,0	27,1	26,9	28,6	29,7	29,3	28,2	28,5
Diamantina	23,5	24,0	24,0	22,8	21,4	20,5	20,1	21,6	22,1	23,1	22,7	23,6
Divinópolis	28,8	29,3	29,1	28,3	26,3	25,4	25,6	27,4	28,2	28,5	27,4	28,4
Espínosa	28,9	29,5	29,7	29,1	28,9	27,8	27,8	29,3	30,4	30,5	28,7	28,8
Florestal	27,4	28,2	28,5	27,4	25,8	24,9	24,8	26,6	27,2	27,0	26,8	27,0
Formoso	28,2	28,8	28,7	28,6	28,1	27,6	28,0	29,8	30,5	29,8	28,0	28,1
Frutal	30,2	30,2	30,4	30,4	27,9	27,8	27,8	30,3	30,4	30,6	30,8	30,0
Ibirité	27,3	27,9	28,0	27,0	25,3	24,3	24,1	26,1	26,4	26,7	26,8	26,7
Itamarandiba	26,2	26,9	26,5	25,0	23,7	22,7	22,4	23,8	24,7	25,2	24,4	25,8
Ituiutaba	30,3	30,5	30,2	30,5	28,7	27,5	28,3	30,5	30,6	31,3	30,9	30,2
Janaúba	29,9	30,3	30,6	29,9	29,3	28,1	28,4	29,6	30,7	31,2	29,6	29,5
João Pinheiro	27,7	28,5	28,5	28,3	27,3	26,6	26,3	28,1	29,2	28,7	27,8	27,6
Juiz de Fora	24,7	26,1	24,9	23,1	21,3	20,4	20,5	21,4	21,4	22,7	23,3	24,3
Juramento	28,4	28,8	28,6	28,4	27,8	26,9	26,5	27,8	29,3	30,0	27,6	27,4
Lambari	27,3	27,9	27,7	26,0	24,2	22,7	23,1	24,9	24,4	26,7	27,2	27,1
Lavras	26,7	27,3	27,2	25,8	24,0	23,2	23,1	24,9	25,2	25,9	26,1	26,2
Machado	27,0	27,5	27,4	26,1	24,2	22,8	22,9	25,0	25,4	26,2	26,7	26,6
Moçambinho	30,0	30,4	30,6	30,7	29,9	29,4	29,7	31,1	32,4	32,0	29,6	30,0
Monte Azul	28,8	29,3	29,4	28,9	28,5	27,4	27,6	28,9	30,1	30,3	28,4	28,5
Montes Claros	28,1	28,9	28,7	28,3	27,8	27,1	26,9	28,4	29,6	29,2	27,5	27,4
Paracatu	28,9	29,0	28,9	28,2	27,3	26,7	26,7	28,8	29,9	29,8	28,2	28,4
Patos de Minas	26,7	27,1	27,3	26,7	25,5	25,0	24,8	27,1	27,6	26,9	26,3	26,2
Pedra Azul	28,3	28,7	28,6	27,1	25,7	24,7	24,3	25,3	26,2	27,2	27,0	27,8
Pirapora	29,0	29,9	30,3	29,7	28,8	28,0	28,0	29,7	30,8	30,5	29,0	28,5
Poços de Caldas	24,7	24,9	25,1	23,8	21,8	20,8	20,8	22,7	23,0	23,8	24,4	24,0
Pompeu	28,2	29,1	28,9	28,4	26,8	26,1	26,2	27,9	28,7	29,2	28,1	28,0
Salinas	29,3	29,8	29,8	28,2	27,6	26,6	26,7	28,5	29,5	29,8	28,2	28,8
São Lourenço	27,0	27,7	27,5	26,3	24,0	22,9	23,0	24,9	25,2	26,0	26,6	26,8
São Sebastião do Paraíso	26,5	26,6	26,6	26,4	24,4	23,4	23,5	26,1	26,8	26,6	27,1	26,3
Sete Lagoas	27,4	28,2	28,2	27,3	25,8	25,2	25,0	26,9	27,4	27,3	26,8	27,0
Uberaba	28,4	28,8	28,8	28,5	26,8	26,2	26,1	28,4	28,7	29,0	28,8	28,2
Unaí	29,8	30,3	30,2	29,7	29,0	28,2	28,5	30,3	31,5	31,3	29,5	29,3
Viçosa	26,5	27,4	27,1	25,3	23,8	22,7	22,6	24,3	24,1	24,7	25,3	26,1

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

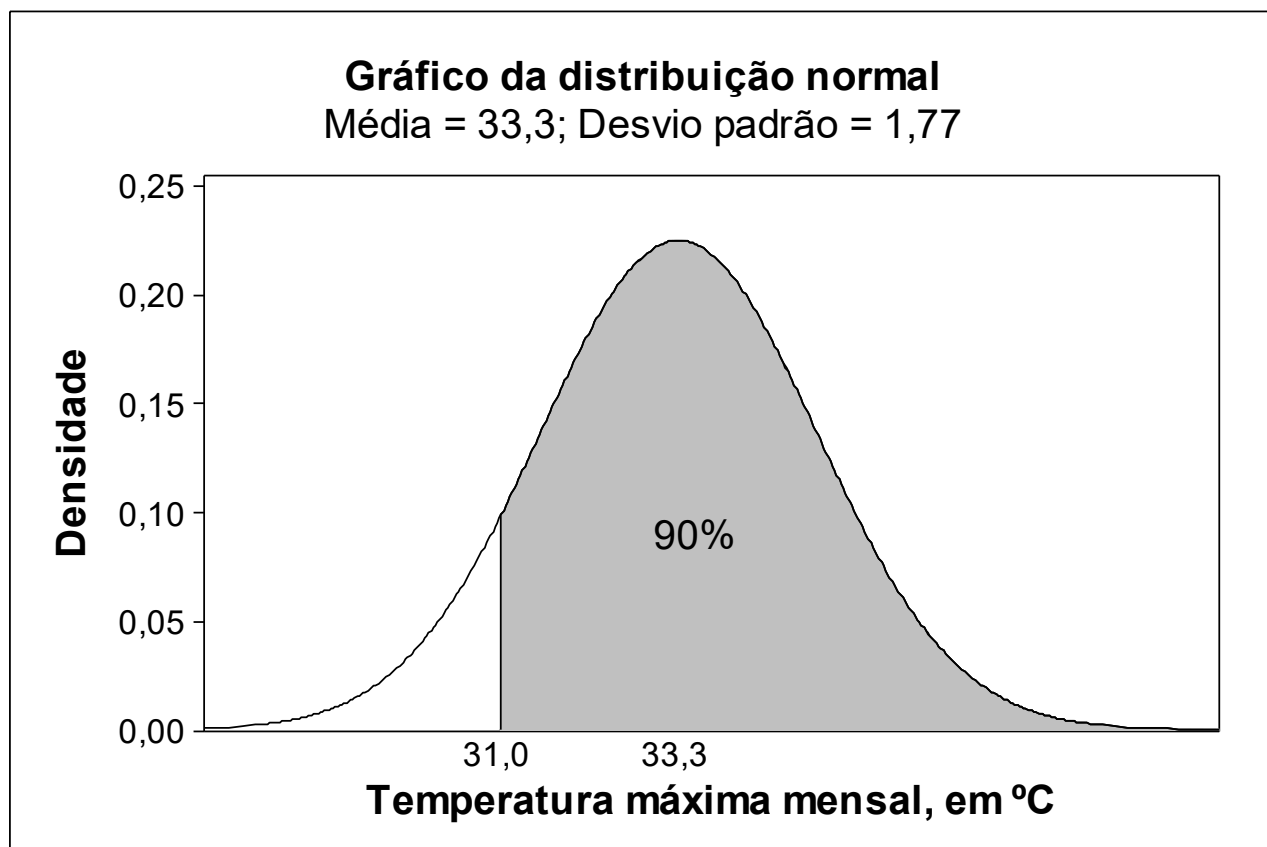


Figura 2 - A área hachurada representa que a probabilidade de a temperatura máxima mensal ser maior ou igual a 31,0°C no mês de janeiro em Aimorés, Minas Gerais, é de 90%.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2022.

Para cada mês, com os valores de temperatura máxima mensal para cada município (Tabela 4) e com as respectivas coordenadas geográficas (Tabela 1) foram elaborados 12 mapas, ou seja, um mapa para cada mês (Figuras 3 a 14). As interpolações possibilitaram, posteriormente, a extração de isolinhas com diferença de 0,5°C entre si. Assim, por exemplo, uma isolinha de 28°C significa que há 90% de probabilidade de que a temperatura máxima mensal seja maior ou igual a 28°C. Assim, se a temperatura basal superior de uma determinada espécie é 28°C, a região delimitada por essa isolinha poderá apresentar restrições ao crescimento e desenvolvimento dessa espécie. Portanto, pode-se inferir que os mapas contribuem substancialmente para o planejamento de atividades relacionadas às diversas culturas agrícolas do Estado de Minas Gerais, demonstrando a probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais que podem prejudicar ou favorecer os cultivos.

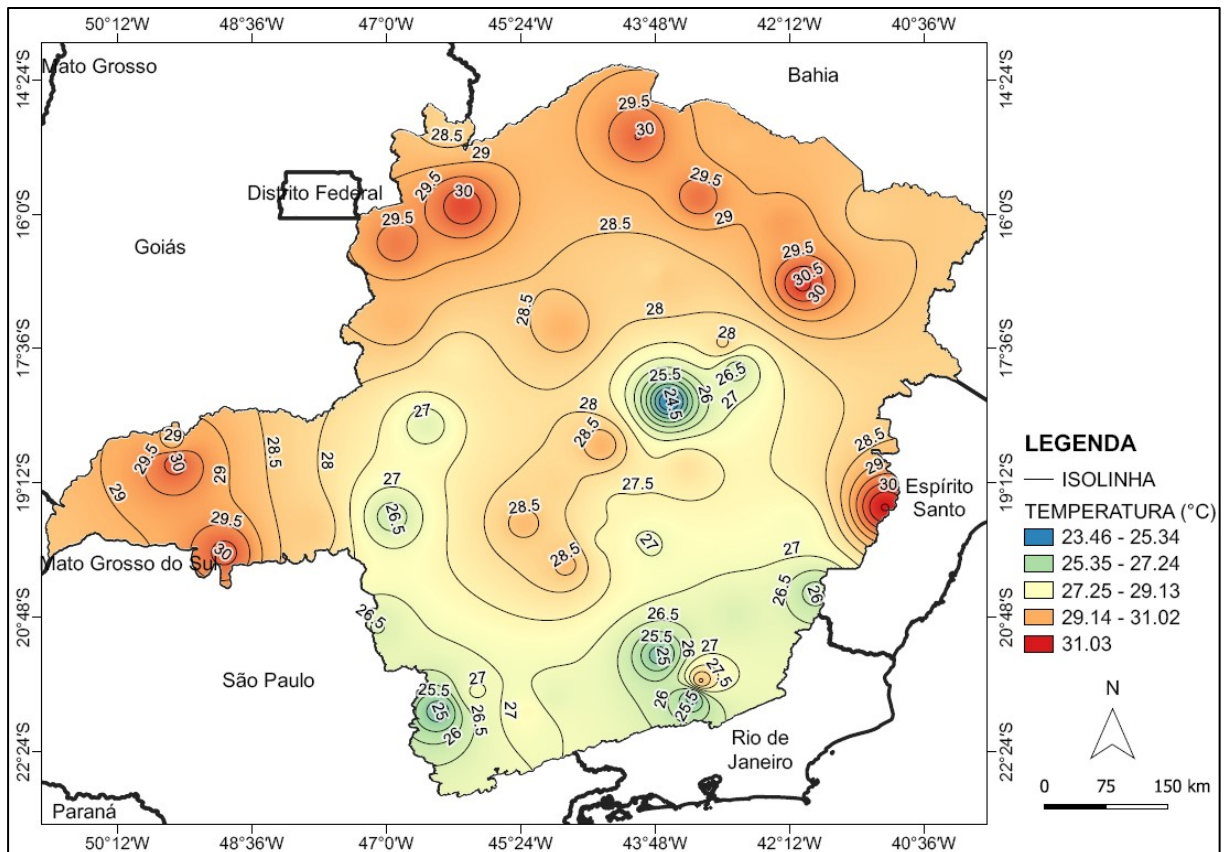


Figura 3 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de janeiro em Minas Gerais.

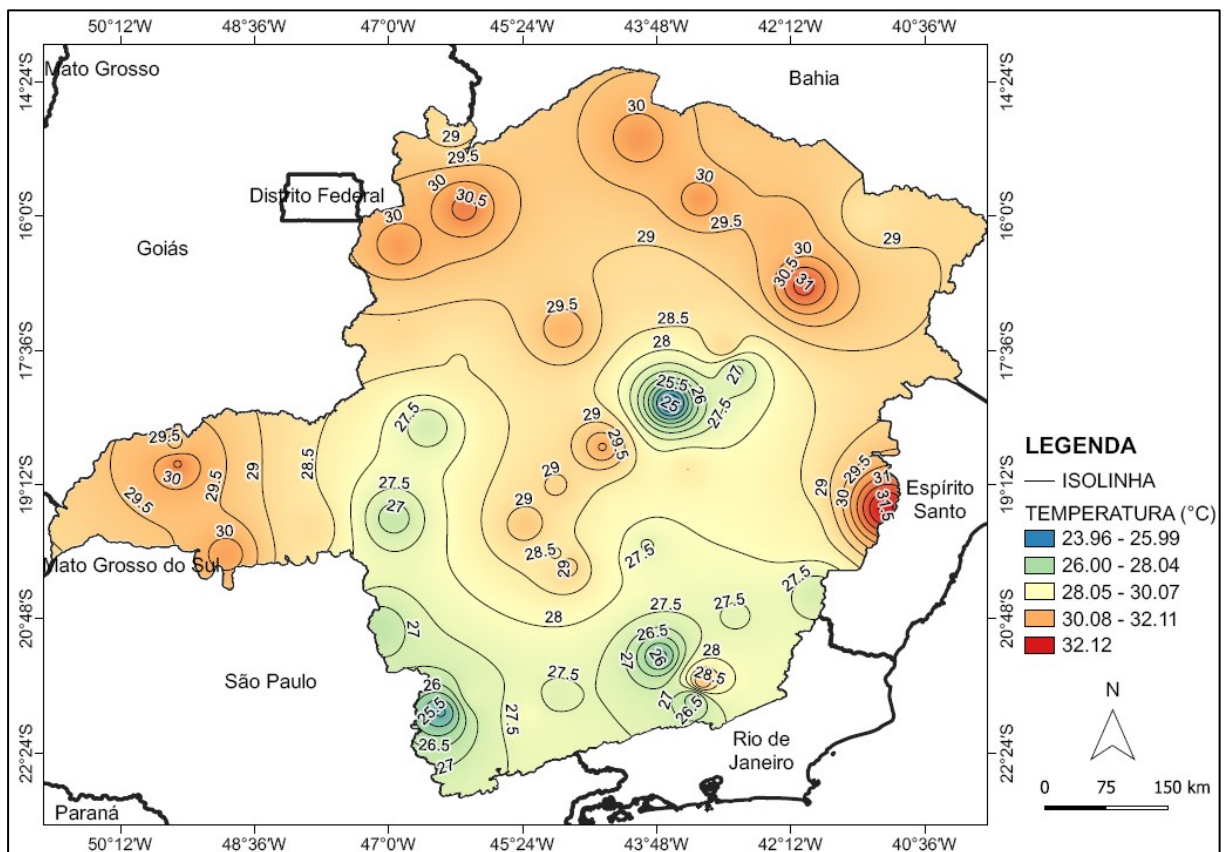


Figura 4 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de fevereiro em Minas Gerais.

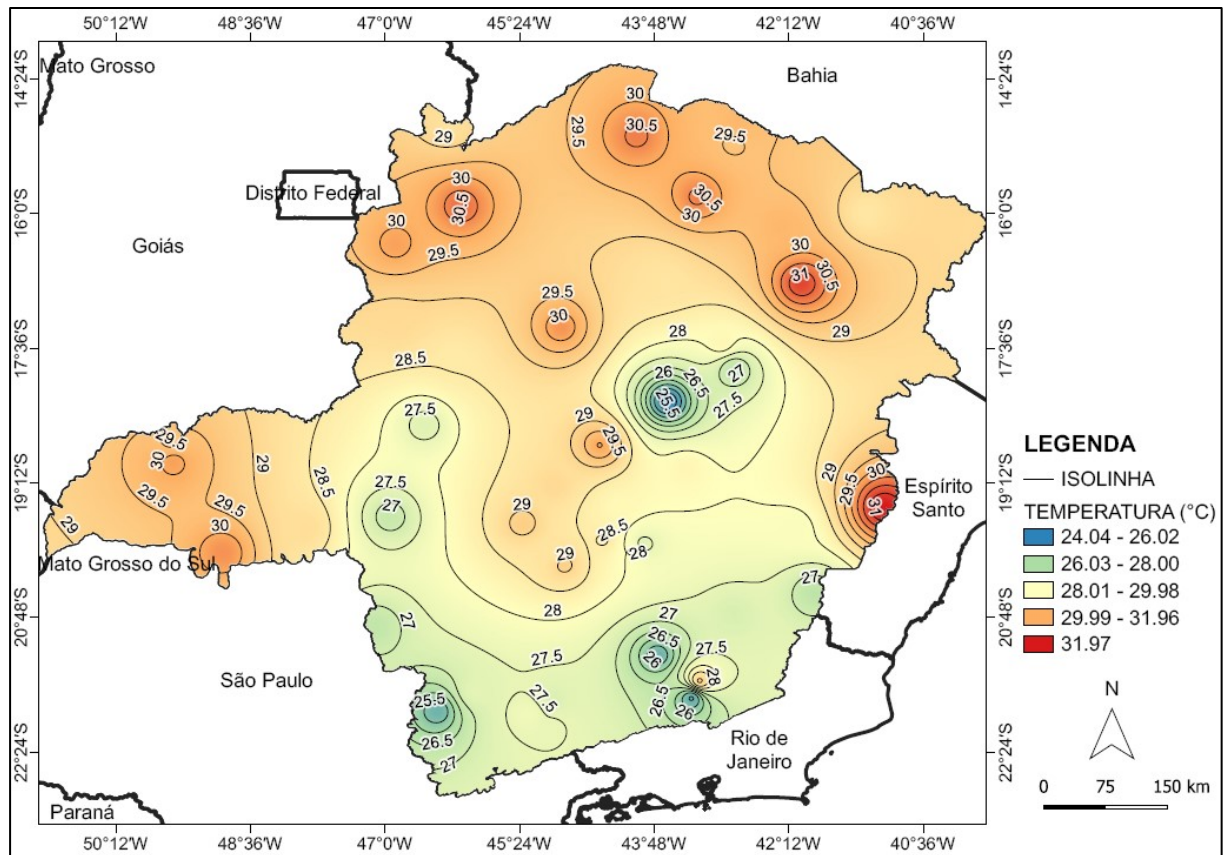


Figura 5 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de março em Minas Gerais.

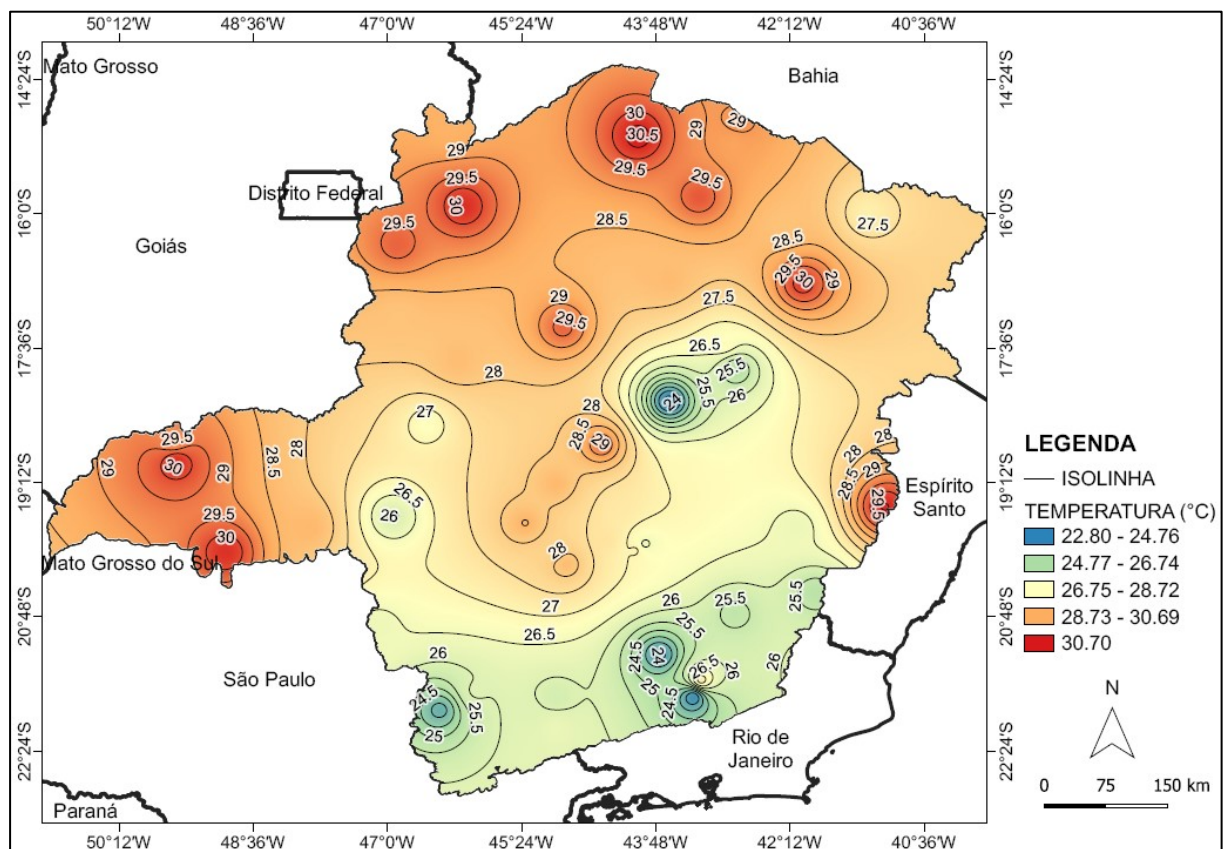


Figura 6 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de abril em Minas Gerais.

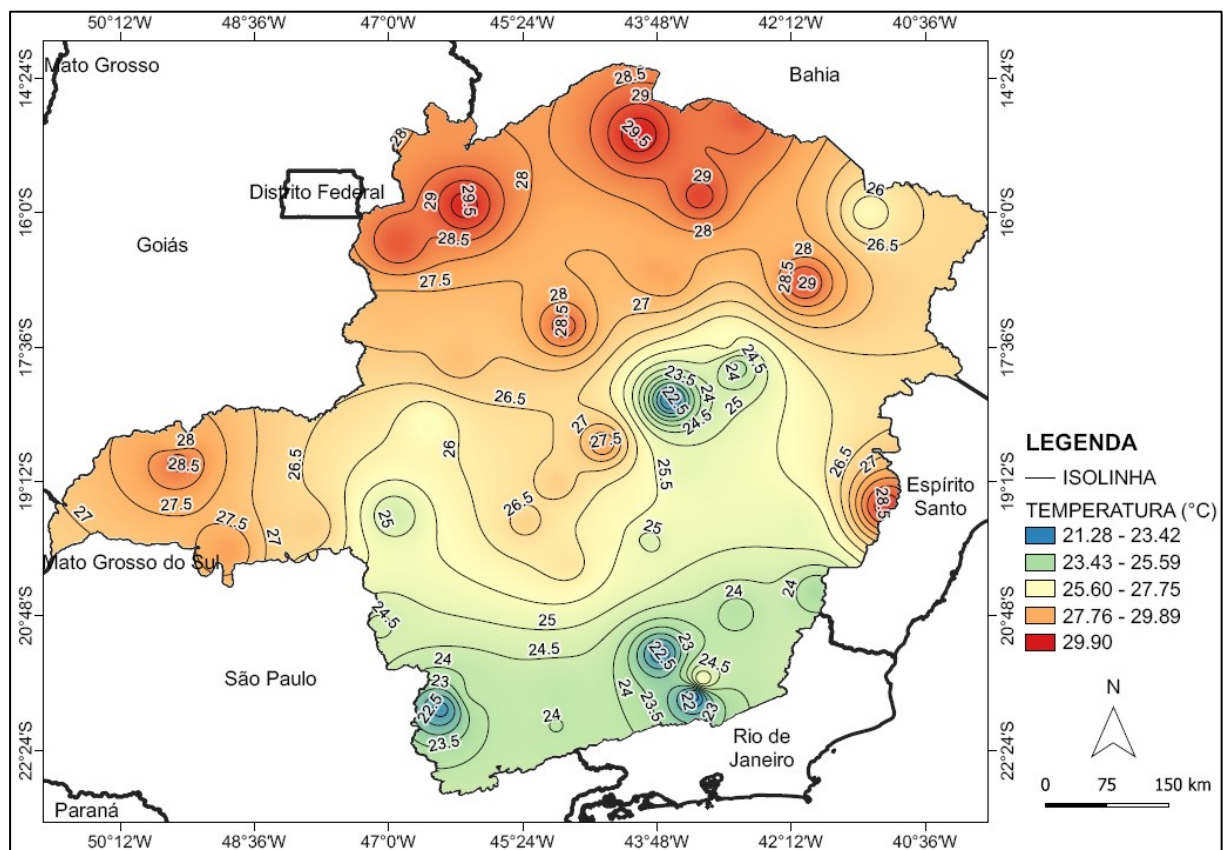


Figura 7 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de maio em Minas Gerais.

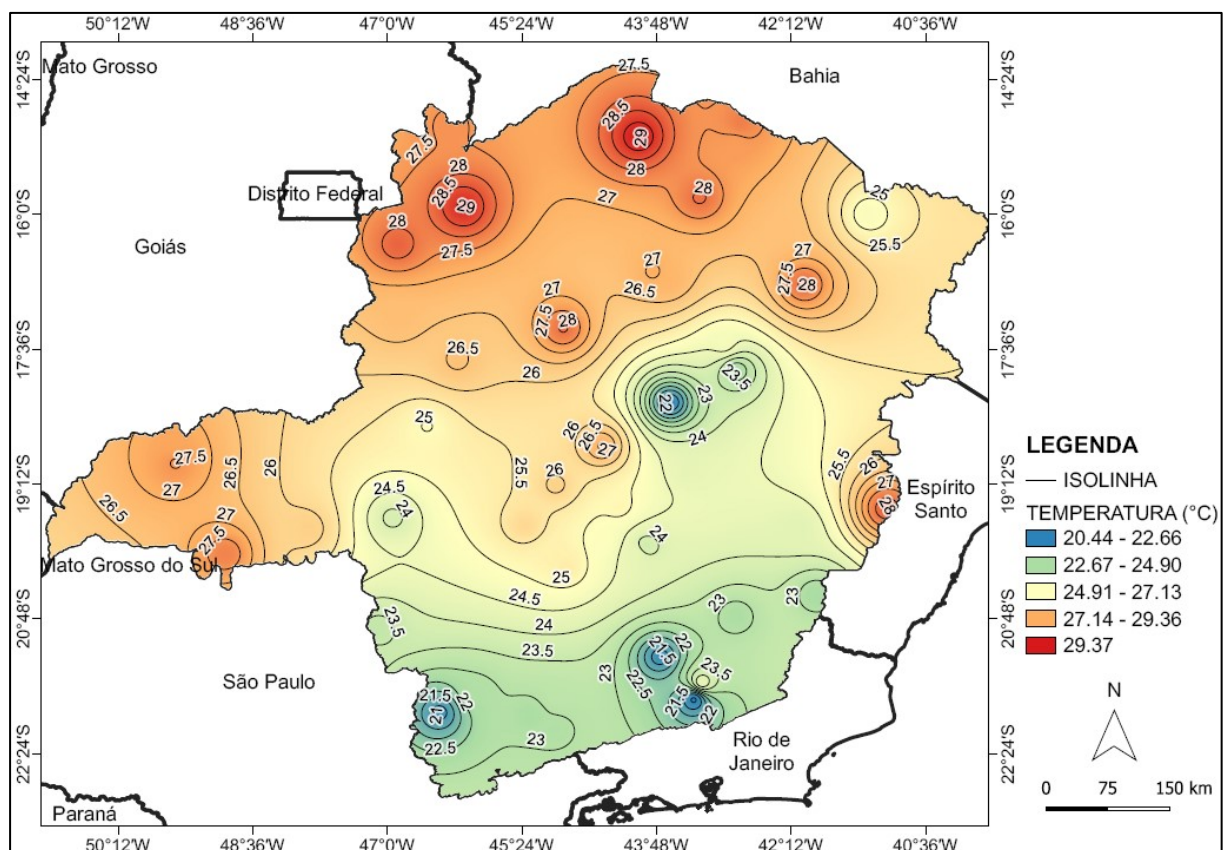


Figura 8 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de junho em Minas Gerais.

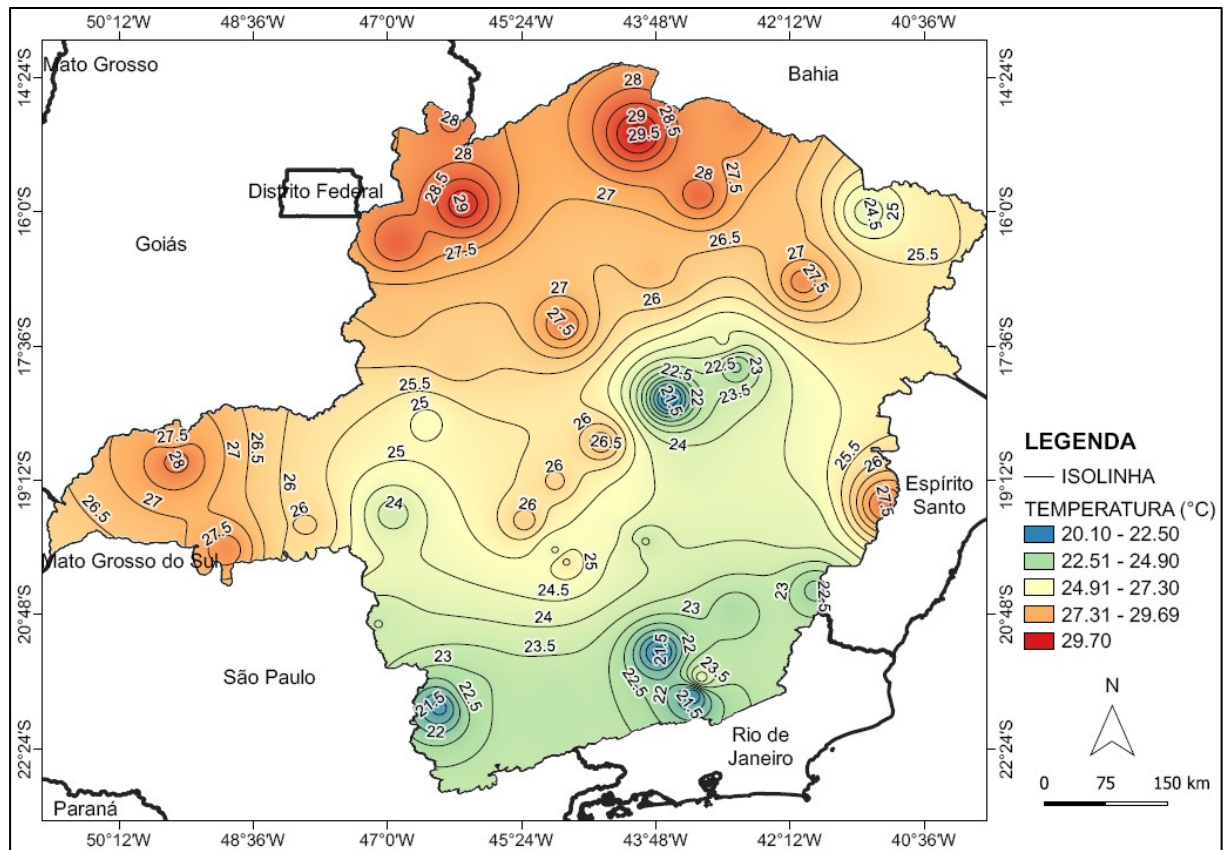


Figura 9 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de julho em Minas Gerais.

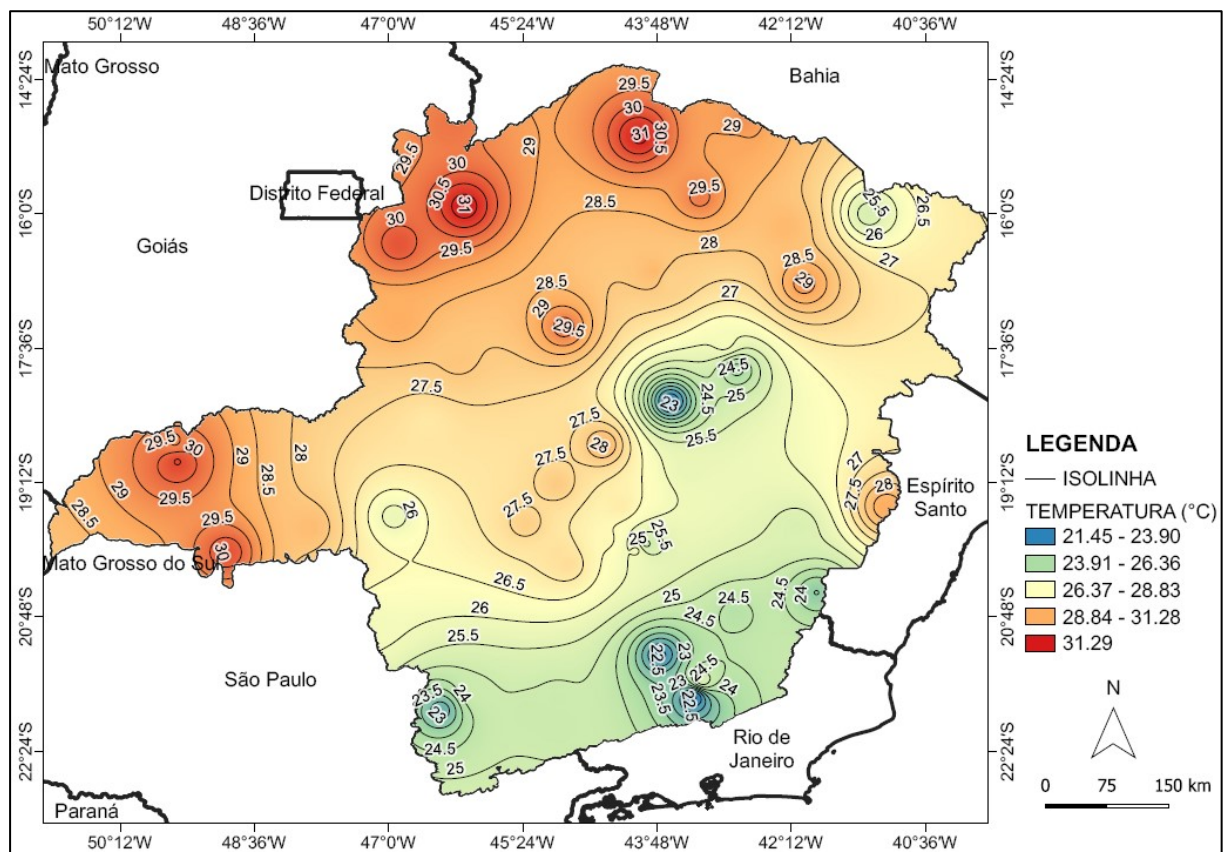


Figura 10 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de agosto em Minas Gerais.

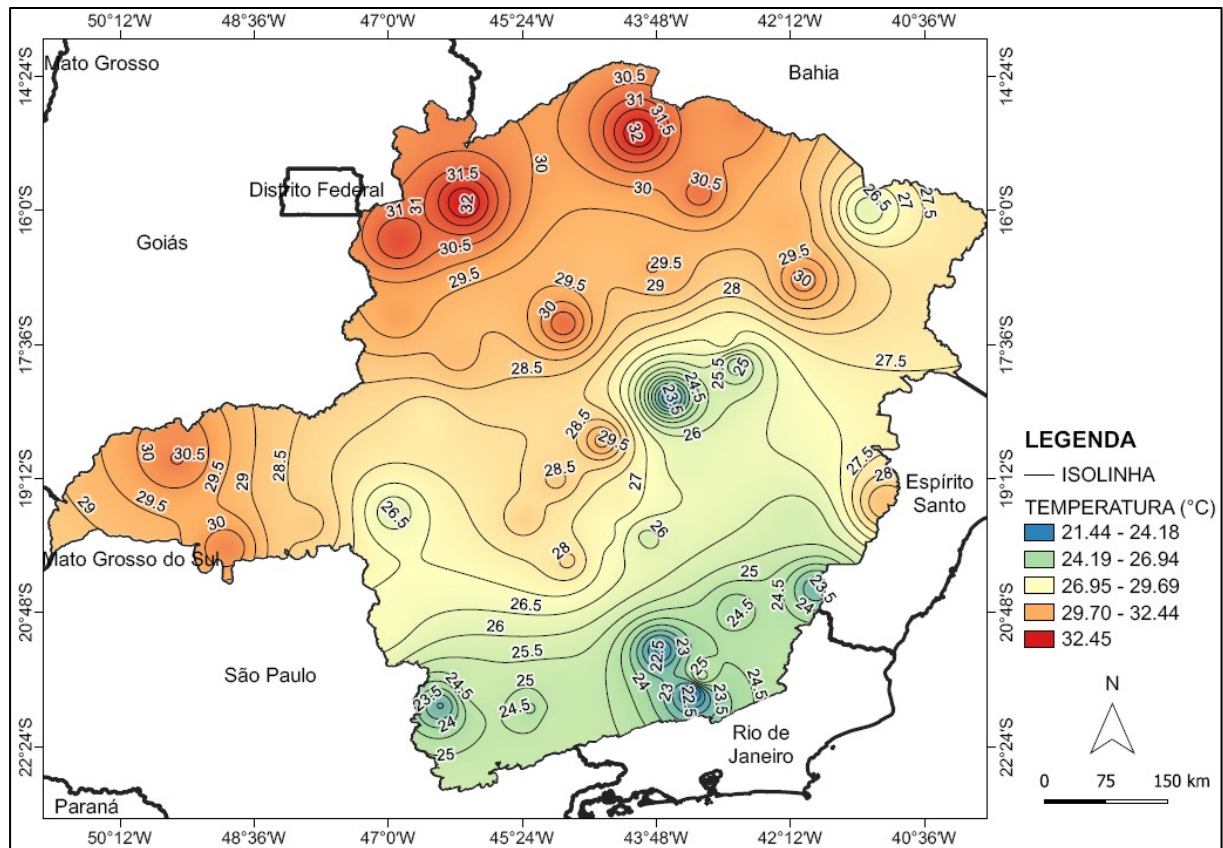


Figura 11 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de setembro em Minas Gerais.

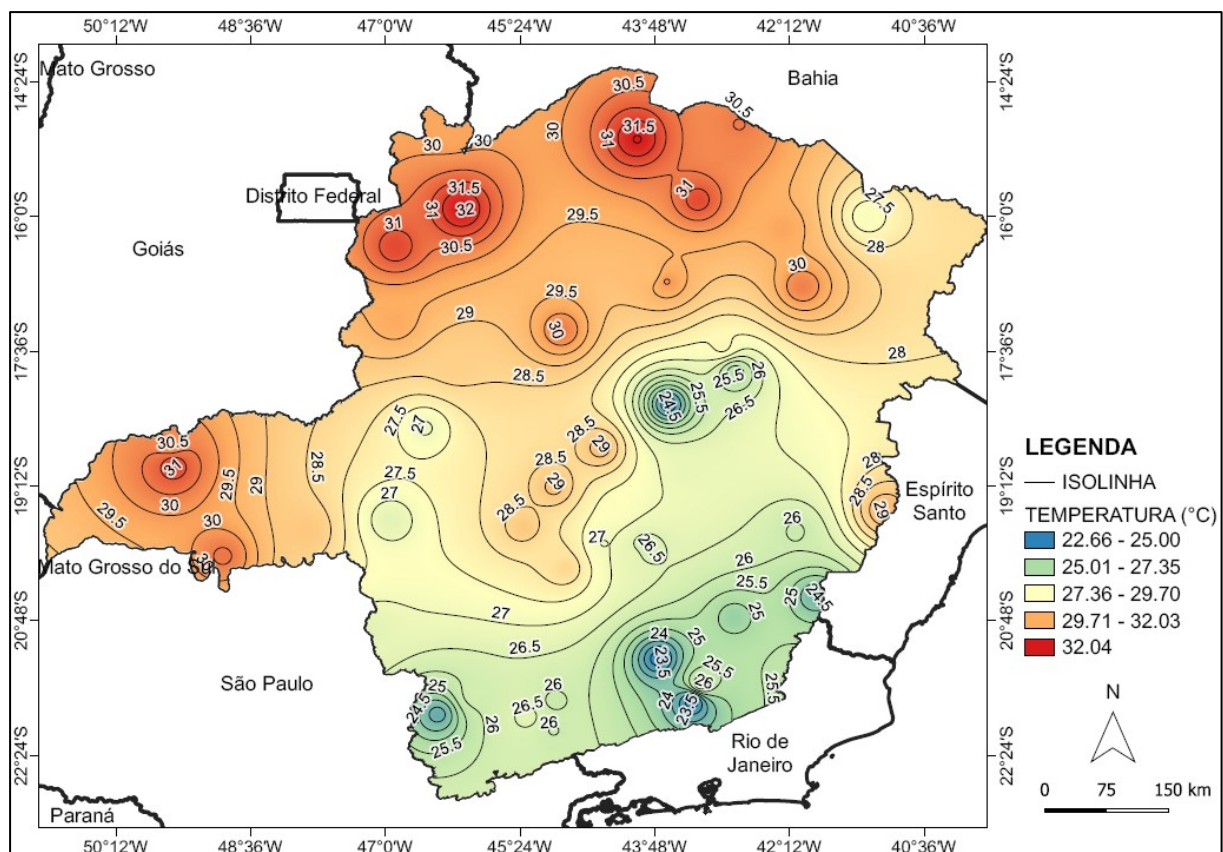


Figura 12 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de outubro em Minas Gerais.

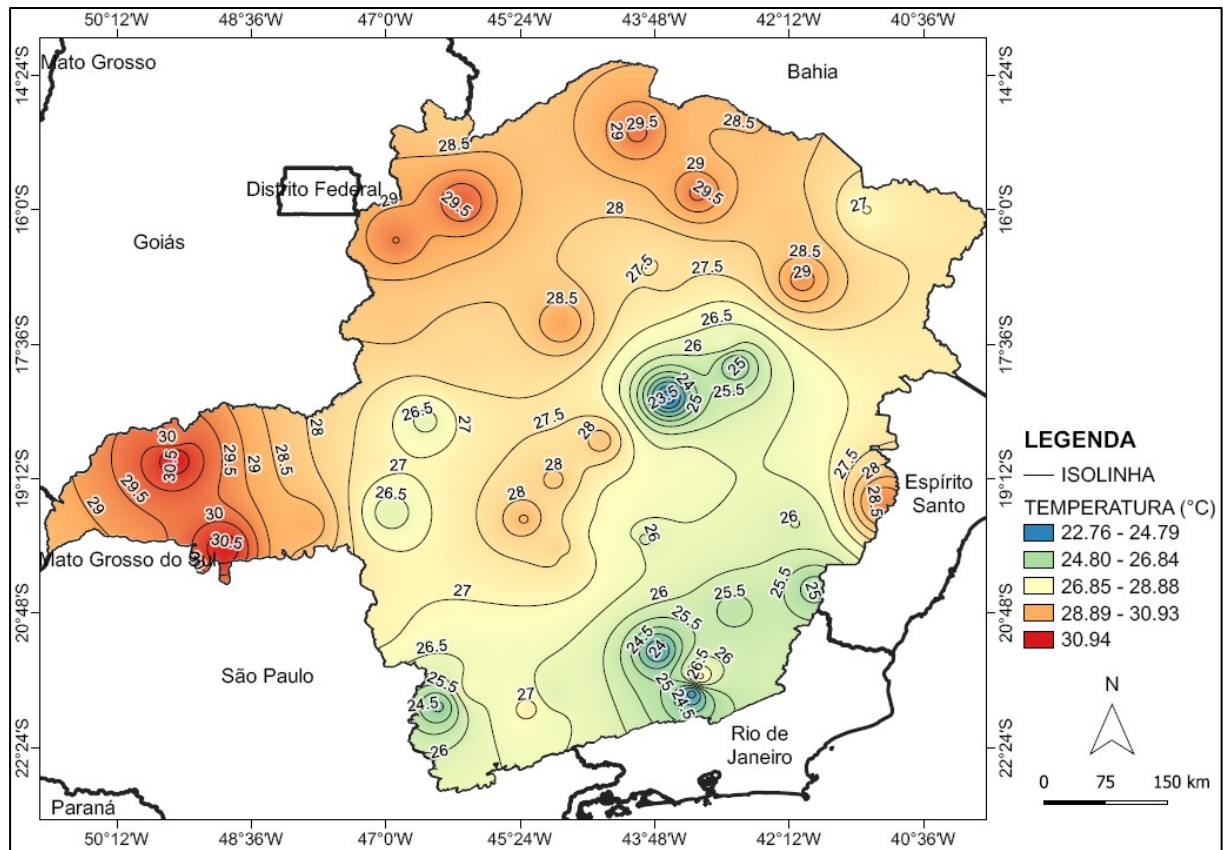


Figura 13 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de novembro em Minas Gerais.

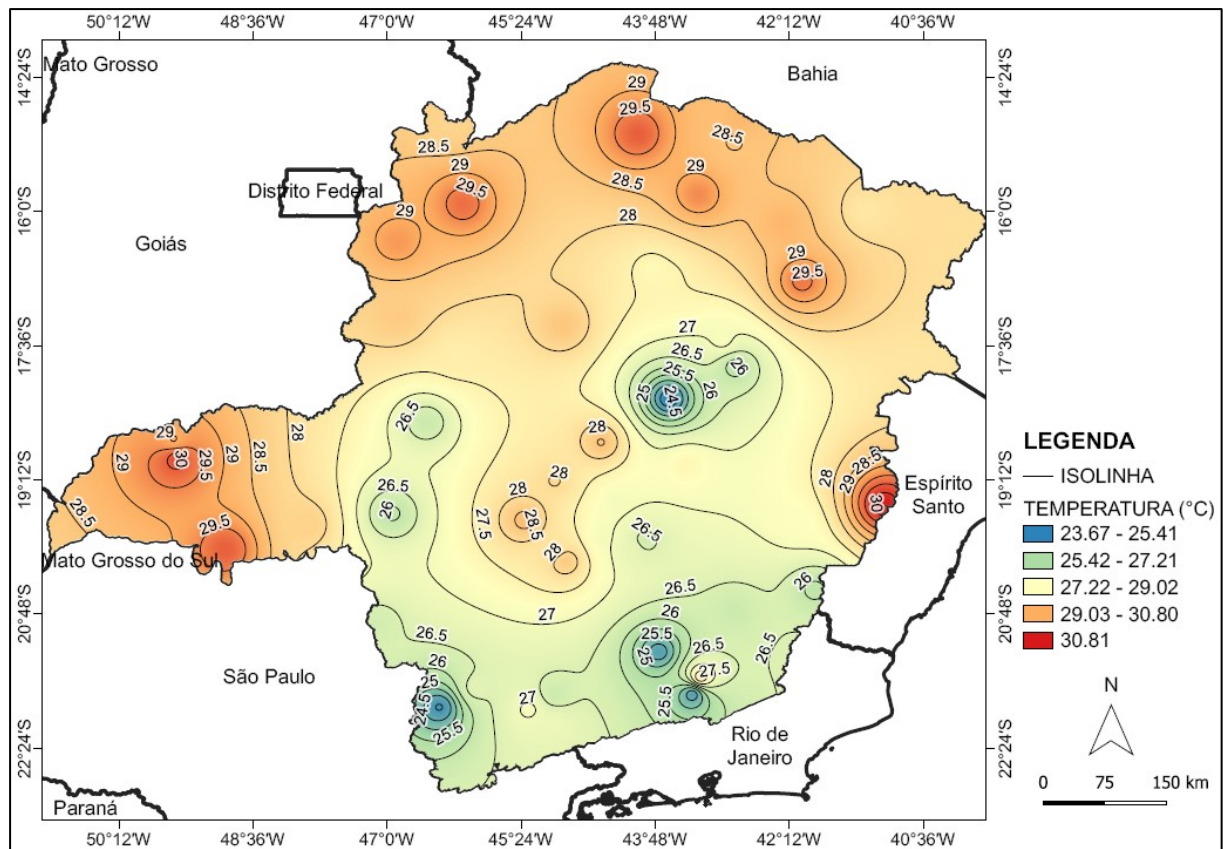


Figura 14 - Mapa de 90% de probabilidade de ocorrência de temperaturas máximas mensais, em °C, iguais ou superiores ao valor de temperatura das isolinhas, para o mês de dezembro em Minas Gerais.

Temperaturas basais superiores têm sido determinadas para espécies, tais como: 30°C, 34°C, 34°C e 28°C, nas fases poda-brotação, brotação-florescimento, florescimento-frutificação e maturação, respectivamente, para nectarina e pêssego (SOUZA; LEONEL; SILVA, 2011); 32°C para mangueira (RODRIGUES; SOUZA; LIMA, 2013); 38°C para feijão-caupi (FARIAS *et al.*, 2015); e 38,8°C e 36,8°C, respectivamente, para os estágios de maturidade e ciclo total de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) (MORAES *et al.*, 2019). Com base nessas temperaturas limitantes, pode-se inferir que as regiões Norte, Leste e Oeste de Minas Gerais apresentam maiores restrições, principalmente nos meses com maior Tmax, ou seja, novembro, dezembro, janeiro e fevereiro (Tabela 2), em comparação à região Sul, pelo fato dessas regiões terem alta probabilidade (90%) de ocorrência de valores de Tmax superiores a esses valores de temperatura base (Figuras 3 a 14).

Os resultados desse estudo servem como referência para o planejamento de outras culturas agrícolas que tenham interferência da Tmax no seu crescimento e desenvolvimento. Possibilitam identificar as regiões e os meses do ano em que determinadas condições de Tmax possam ser prejudiciais ou favoráveis aos cultivos agrícolas no Estado de Minas Gerais.

4. CONCLUSÕES

A temperatura máxima mensal do ar (Tmax) se ajusta às distribuições normal, log-normal, gama e weibull. As estimativas dos parâmetros da distribuição normal (média e desvio padrão) podem ser utilizadas para determinar o valor de Tmax cuja probabilidade de ocorrência de Tmax maior ou igual a esse valor é de 90% e, para posterior elaboração de mapas com a interpolação desses valores de Tmax em isolinhas. As isolinhas são úteis para verificar a probabilidade de ocorrência de Tmax prejudicial ou favorável para o desenvolvimento de determinada cultura agrícola, nos 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 à 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**, v. 23, n. 3, p. 104-109, 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**, v. 41, n. 1, p. 36-45, 2010b.

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**, v. 12, n. 1, p. 113-121, 2004.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 9. 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**, v. 14, n. 2, p. 87-93, 2008.

FARIAS, V. D. S.; COSTA, D. L. P.; SOUZA, P. J. O. P.; TAKAKI, A. Y.; LIMA, M. J. A. Temperaturas basais e necessidade térmica para o ciclo de desenvolvimento do feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 21, p. 1781-1792, 2015.

FERREIRA, D. F. **Estatística básica**. 2. 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. **Anais...** Caxambu: Associação Brasileira de Estudos Populacionais, 2006. p. 1-22.

MORAES, D. H. M.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; ALVES JÚNIOR, J.; BATTISTI, R.; MESQUITA, M. Determination of basal temperature and its relationship with jatropha crop in irrigated and non-irrigated system. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, n. 2, p. 465-476, 2019.

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.

RODRIGUES, J. C.; SOUZA, P. J. O. P.; LIMA, R. T. Estimativa de temperaturas basais e exigência térmica em mangueiras no nordeste do Estado do Pará. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 35, n. 1, p. 143-150, 2013.

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**, 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**, v. 46, n. 12, p. 1588-1596, 2011.

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

Recebido: 16.03.2022

Aceito: 20.06.2022