

Tendência e Projeção da Temperatura do Ar para o Estado de Goiás



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
51**

**Tendência e Projeção da Temperatura
do Ar para o Estado de Goiás**

*Brunna Emily Santos Silva
Pedro Henrique Silva Farias
Luís Fernando Stone
Silvando Carlos da Silva
Alessandra da Cunha Moraes
Alexandre Bryan Heinemann*

**Embrapa Arroz e Feijão
Santo Antônio de Goiás, GO
2018**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão
Rod. GO 462, Km 12, Zona Rural
Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO
Fone: (62) 3533-2105
Fax: (62) 3533-2100
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê Local de Publicações

Presidente
Lineu Alberto Domiti

Secretário-Executivo
Pedro Marques da Silveira

Membros
Alúísio Goulart Silva, Ana Lúcia Delalibera de Faria, Elcio Perpétuo Guimarães, Luciene Frões Camarano de Oliveira, Luís Fernando Stone, Márcia Gonzaga de Castro Oliveira, Roselene de Queiroz Chaves

Supervisão editorial
Luiz Roberto Rocha da Silva

Revisão de texto
Luiz Roberto Rocha da Silva

Normalização bibliográfica
Ana Lúcia D. de Faria

Tratamento das ilustrações
Fabiano Severino

Editoração eletrônica
Fabiano Severino

Foto da capa
Sebastião José de Araújo

1ª edição
On-line (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Tendência e projeção da temperatura do ar para o Estado de Goiás / Brunna Emily Santos Silva ...[et al.]. - Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2018.

28 p. - (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9601 ; 51)

1. Climatologia – Goiás. 2. Temperatura – Goiás. 3. Mudanças climáticas – Goiás. I. Silva, Brunna Emily Santos. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

CDD 551.698173

© Embrapa, 2018

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução.....	8
Material e Métodos	9
Análise da tendência da temperatura média (1980 a 2014)	11
Coeficiente angular.....	11
Análise de década	11
Incremento da temperatura	12
Temperaturas extremas.....	13
Projeção da temperatura média do ar	18
Resultados e Discussão	19
Conclusões.....	27
Referências	27

Tendência e Projeção da Temperatura do Ar para o Estado de Goiás

Brunna Emily Santos Silva¹

Pedro Henrique Silva Farias²

Luís Fernando Stone³

Silvando Carlos da Silva⁴

Alessandra da Cunha Moraes⁵

Alexandre Bryan Heinemann⁶

Resumo – A temperatura do ar interfere na produtividade das culturas por ser caráter determinante na duração dos estádios de desenvolvimento. As temperaturas do ar acima ou abaixo do ótimo alteram a duração do ciclo, enquanto que valores acima do desejável afetam o florescimento e a fixação dos frutos. Relatórios do Painel Intergovernamental para a Mudança de Clima (IPCC), apontam evidências sobre uma possível ocorrência de anos mais quentes. A principal causa dessa tendência é o aumento da concentração de gases de efeito estufa que levam ao aquecimento do planeta. O objetivo deste estudo foi analisar e quantificar tendências (1980 a 2014) e projeções (2020-2045) na temperatura média do ar para o Estado de Goiás. Para a análise da tendência da temperatura média do ar (dados históricos) utilizaram-se quatro métodos denominados, respectivamente, coeficiente angular, análise de década, incremento de temperatura e temperaturas extremas baseadas nas temperaturas máxima e mínima. Para a obtenção da projeção da temperatura média do ar, foi empregado um conjunto de 12 modelos climáticos de

¹ Bacharelanda em agronomia da Universidade Federal de Goiás, estagiária da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

² Estudante de graduação em Engenharia de Software da Universidade Federal de Goiás, estagiário da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

³ Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁴ Engenheiro agrícola, mestre em Agrometeorologia, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁵ Bacharel em Tecnologia em Geoprocessamento, analista da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

⁶ Engenheiro-agrônomo, doutor em Irrigação e Drenagem, pesquisador da Embrapa Arroz e Feijão, Santo Antônio de Goiás, GO.

circulação global para quatro Caminhos Representativos de Concentração - RCPs (2.6, 4.5, 6.0 e 8.5), que representam diferentes trajetórias de concentração dos gases de efeito estufa no clima futuro. Todos os métodos de análise indicaram que houve aumento da temperatura média do ar no Estado de Goiás ao longo dos anos (1980-2013). Esse aumento é confirmado na projeção de futuro próximo (2020 a 2045) para todos os RCPs.

Termos para indexação: Mudanças climáticas, temperatura máxima, temperatura mínima.

Trend and Projection of Air Temperature for the Goiás State

Abstract – The temperature interferes in crop productivity because it is a determinant factor in the duration of developmental stages. Temperatures above or below the optimum alter the cycle duration, whereas the increase in temperature affects flowering and fixation of fruits. Reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) point to evidence of possible climate change, such as the occurrence of warmer years. The main cause of this trend is the increased concentration of greenhouse gases that tends to heat the planet. The objective of this study was to analyze and quantify trends (1980 to 2014) and projections (2020-2045) in the average air temperature for the Goiás state. For the analysis of the trend of average air temperature (historical data) four methods were used, respectively, angular coefficient, decade analysis, temperature increase and extreme temperatures based on maximum and minimum temperatures. In order to obtain the projection of the average air temperature, a set of 12 global circulation climate models was used for four Representative Concentration Pathway - RCPs (2.6, 4.5, 6.0 and 8.5), representing different trajectories of concentration of greenhouse gases in the future climate. All methods of analysis indicated that there was an increase in average air temperature over the years (1980-2013) in the Goiás state. This increase is confirmed in the projection of the near future (2020 to 2045) for all RCPs.

Index terms: Climate model, maximum temperature, minimum temperature.

Introdução

A temperatura do ar é um dos principais elementos climáticos condicionantes para a produção vegetal, sendo resultado do efeito da radiação solar. É um índice que expressa a quantidade de calor sensível de um corpo. O aquecimento da atmosfera próximo à superfície terrestre ocorre, principalmente, por transporte de calor, a partir do aquecimento dessa área pelos raios solares. A temperatura do ar é expressa em temperatura máxima, média e mínima (Pereira et al., 2007).

A temperatura do ar interfere na produtividade das culturas por sua natureza determinante na duração dos estádios de desenvolvimento. As temperaturas acima ou abaixo de ótima alteram a duração do ciclo, enquanto que o aumento da temperatura do ar afeta o florescimento e a fixação dos frutos (Challinor et al., 2005). Dessa maneira, a temperatura supraótima impacta na produtividade, devido à elevação da respiração do tecido vegetal e ao encurtamento do ciclo da cultura (Taiz; Zeiger, 2004). Além disso, há processos fisiológicos, como a fotossíntese, que só ocorrem de forma adequada entre certos limites térmicos (Pereira et al., 2007).

As consequências de mudanças na temperatura do ar podem ser drásticas, afetando a produtividade, a adaptação e práticas de uso do solo, a incidência de insetos-pragas e doenças e, até mesmo a distribuição geográfica das culturas, causando sérias limitações para a produção de alimentos (Freckleton et al., 1999; Gadgil et al., 1999). O aquecimento terrestre inclui também uma mudança uniforme no ciclo global da água, acentuando o contraste nas precipitações pluviais entre as regiões úmidas e secas (IPCC, 2013).

Segundo Morettin e Toloi (2004), as tendências podem ser identificadas por testes estatísticos, como médias móveis, utilizadas para analisar dados de valor médio em um intervalo de tempo ou período. Para conceituar uma tendência, deve-se descrever a movimentação suave dos dados, em longo prazo, podendo esta ser crescente, decrescente ou estável. As tendências são muito variáveis de uma região para outra e ocorrerem em curtos períodos, não podendo ser confundidas com mudanças climáticas (Angelocci; Sentelhas, 2010).

De acordo com o Terceiro Relatório de Avaliação (TAR) do IPCC, a temperatura média da atmosfera aumentou em torno de 0,6° C durante o século XX (IPCC, 2001). Os modelos de projeções globais do IPCC mostraram que, entre os anos de 1900 a 2100, a temperatura global pode aquecer entre 1,4 °C e 5,8 °C. O quarto relatório do IPCC aponta evidências sobre uma possível mudança climática, como a ocorrência de anos mais quentes, tal como em 1995 e 2006 (IPCC, 2007). Esses anos estão entre os 12 mais quentes desde 1850, com uma diminuição na frequência de dias e noites frias e o aumento na frequência de quentes.

A principal causa dessa tendência é o aumento da concentração de gases de efeito estufa, relacionados ao aquecimento da atmosfera terrestre. O clima, numa escala regional e global, poderá mudar devido ao desmatamento e outras atividades antrópicas, como a agricultura e a construção de grandes cidades (Marengo, 2007). Estudos sobre os impactos da temperatura global na produtividade do trigo mostram que o incremento de 1 °C no clima ocasionará um declínio na produtividade entre 4,1% e 6,4%. O impacto estimado na produtividade, devido ao aumento da temperatura do ar em 1 °C, é uma redução de 5,7% na produtividade global (Liu et al., 2016). Esse efeito seria causado pela redução da precipitação pluvial e o encurtamento do período de desenvolvimento das culturas.

Diante desses fatos, este estudo propõe analisar e quantificar tendências (1980 a 2014) e projeções (2020-2045) para a temperatura média do ar no Estado de Goiás.

Material e Métodos

Os dados climáticos observados e utilizados neste estudo são provenientes de 75 estações climáticas do INMET (<http://www.inmet.gov.br>) localizadas no Estado de Goiás (Figura 1). Imperfeições nos dados das séries históricas foram verificadas e corrigidas, conforme descrito em D'Afonseca et al. (2013). De acordo com a World Meteorological Organization, para uma análise de séries históricas de dados climáticos há a necessidade de pelo menos 30 anos de observações (Martin et al., 2008). Neste estudo, as 75 estações analisadas possuem dados diários de temperaturas do ar máxima e mínima, de 1980 a 2014, atendendo essa exigência.

Neste estudo utilizou-se a temperatura média, que foi obtida por meio da equação:

$$T_{med} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} \quad \text{eq. 1}$$

em que: T_{med} é a temperatura média, T_{max} é a temperatura máxima e T_{min} é a temperatura mínima, todas expressas em °C.

Para facilitar o desenvolvimento deste estudo, o mesmo foi dividido em duas partes: 1) análise da tendência da temperatura média (1980 a 2014), e 2) análise das projeções futuras da temperatura média (futuro próximo - 2020 a 2045).

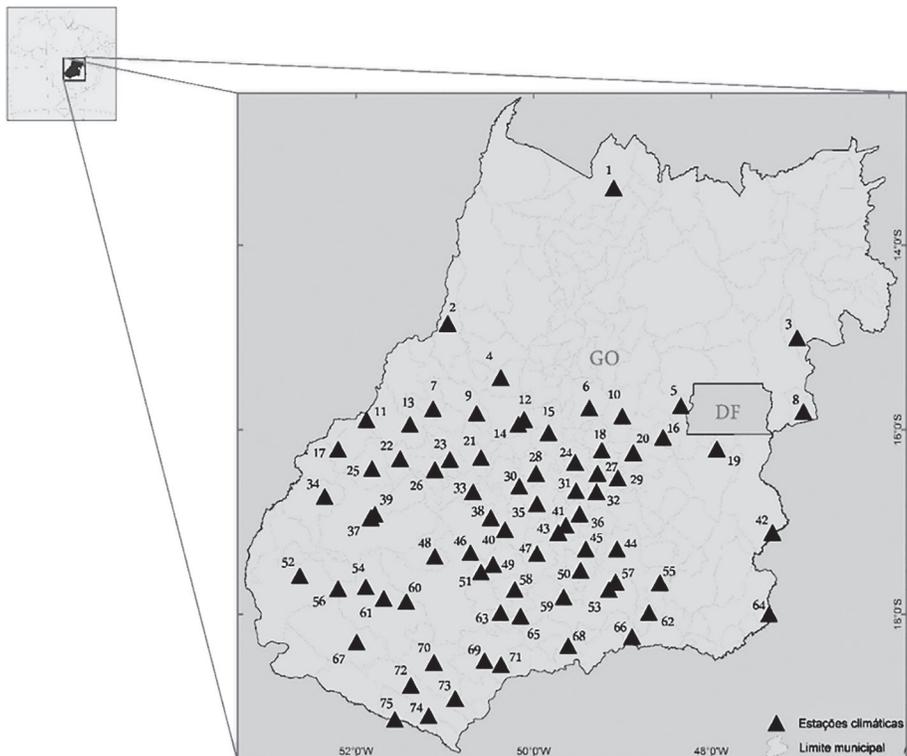


Figura 1. Localização geográfica, no Estado de Goiás, das 75 estações climáticas utilizadas neste estudo.

Análise da tendência da temperatura média (1980 a 2014)

Para a análise da tendência da temperatura média do ar (dados históricos) utilizaram-se quatro métodos, denominados coeficiente angular, análise de década, incremento de temperatura e temperaturas extremas, baseados nas temperaturas máxima e mínima.

Coeficiente angular

A determinação dos coeficientes angulares foi realizada pela aplicação de regressão linear para a série histórica da temperatura média de cada uma das 75 estações climáticas (Figura 1). A regressão linear pode ser utilizada para indicar tendências de alterações climáticas por meio do valor do sinal do coeficiente angular (Back, 2001).

A seguinte regressão linear foi aplicada para cada uma das estações climáticas:

$$y = a(x)_j + b \quad \text{eq.2}$$

em que: a é o coeficiente angular, b é o coeficiente linear, x é o tempo, em dias, de 01/01/1980 (i) a 31/12/2014 (j), e y é a temperatura média diária, em graus Celsius.

Para essa análise, considerou-se três agrupamentos de dados de temperatura média do ar: 1) todos os meses do ano, de 1980 a 2014; 2) período da seca (abril a setembro); e 3) período das águas (outubro a março). Fato este devido ao bioma Cerrado apresentar dois períodos bem definidos, seca e águas.

Análise de década

Para o método de análise de década foram consideradas seis estações climáticas, distribuídas geograficamente no Estado de Goiás e identificadas como IDs 4, 25, 24, 42, 54 e 68, conforme ilustrado na Figura 1 e Tabela 1.

Nesse método, os dados de temperatura média do ar foram agrupados por décadas (1980 a 1989; 1990 a 1999; 2000 a 2009) e também para o período de 2010 a 2014. Para cada decênio, aplicou-se uma regressão robusta

não paramétrica (lowess - local weighted regression) para determinar as temperaturas médias decenais. Esse procedimento permite ajustar localmente um polinômio de grau genérico e univariado, estimando a média das observações. A análise de década permite verificar, visualmente, as diferenças na temperatura média do ar entre as décadas. O fluxograma do método aplicado nessa análise está ilustrado na Figura 2.

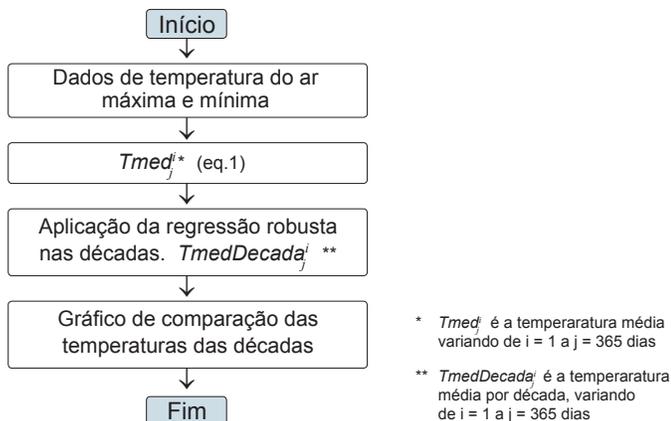


Figura 2. Fluxograma descritivo do método aplicado para a análise de tendência da temperatura média, por década.

Incremento da temperatura

Para a análise desse método foram consideradas as mesmas seis estações climáticas utilizadas no método de análise de década, IDs 4, 25, 24, 42, 54 e 68 (Figura 1 e Tabela 1).

Nesse método, definiu-se uma temperatura de referência anual, denominada baseline, que representa as temperaturas médias iniciais para um ano referência, do primeiro ao 365º dia, definida considerando o período de 1980 a 1995, por meio da aplicação da regressão robusta, lowess. Após a obtenção da baseline, calculou-se a diferença entre esta e as temperaturas médias diárias, para os anos de 1980 a 2013. Essa análise de incremento permite verificar visualmente a diferença entre a temperatura de referência e a temperatura média do ar diária ao longo dos anos. O fluxograma que descreve esse processo está ilustrado na Figura 3.

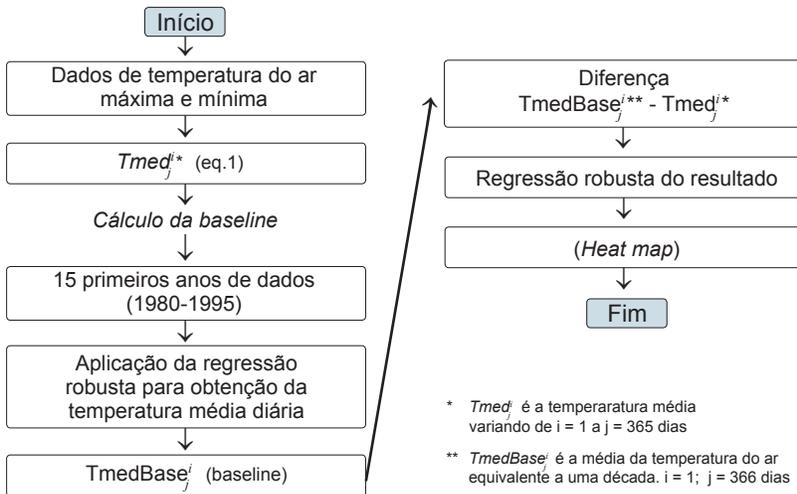


Figura 3. Fluxograma do método aplicado para a análise de incremento da temperatura.

Temperaturas extremas

Para a análise das temperaturas extremas foram utilizadas as temperaturas máxima e mínima do ar das 75 estações climáticas (Figura 1 e Tabela 1) e para a confecção dos mapas foi aplicada a regressão robusta lowess nos dados históricos diários de temperaturas máxima e mínima de cada estação, considerando o período de 1980 a 2014. Como resultado, obteve-se a média das temperaturas máxima e mínima diárias. O fluxograma do método aplicado nessa análise é descrito na Figura 4. A Tabela 1 ilustra os métodos aplicados para cada estação climática.

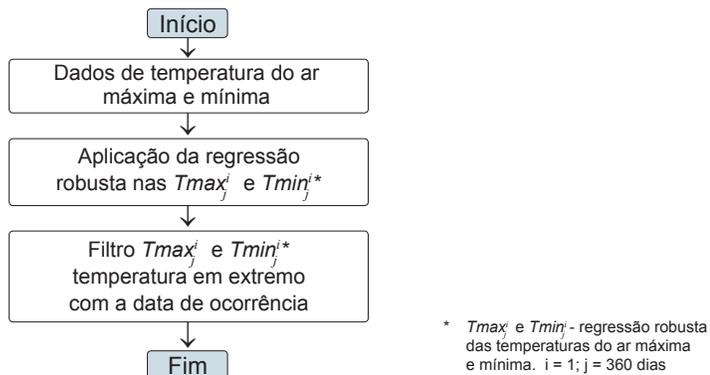


Figura 4. Fluxograma com o método aplicado para a análise das temperaturas extremas.

Tabela 1. Identificação das estações climatológicas e respectivas análises realizadas.

ID.	Lat.	Long.	Município	Análise de tendência			Análise de projeção	
				Coefficiente angular	Análise de década	Incremento da temperatura	Temperatura extrema	Projeção futura
1	-13,43	-49,13	Porangatu	X			X	X
2	-14,9	-51,0	Aruanã	X			X	X
3	-15,0	-47,0	Planaltina	X			X	
4	-15,43	-50,37	Faina	X	X	X	X	X
5	-15,74	-48,31	Águas Lindas de Goiás	X			X	
6	-15,76	-49,34	Jaraguá	X			X	
7	-15,77	-51,1	Santa Fé de Goiás	X			X	
8	-15,8	-46,93	Cabeceiras	X			X	
9	-15,82	-50,61	Itapirapuã	X			X	
10	-15,85	-48,97	Pirenópolis	X			X	
11	-15,89	-51,85	Aragarças	X			X	
12	-15,94	-50,14	Goiás	X			X	
13	-15,94	-51,36	Montes Claros de Goiás	X			X	
14	-15,94	-50,14	Goiás	X			X	
16	-16,08	-48,51	Alexânia	X			X	
17	-16,21	-52,17	Bom Jardim de Goiás	X			X	
18	-16,22	-49,2	Ouro Verde de Goiás	X			X	
19	-16,26	-47,97	Luziânia	X			X	X
20	-16,3	-48,91	Anápolis	X			X	X

Continua...

Tabela 2. Continuação.

ID.	Lat.	Long.	Município	Análise de tendência			Análise de projeção	
				Coefficiente angular	Análise de década	Incremento da temperatura	Temperatura extrema	Projeção futura
21	-16,3	-50,56	Córrego do Ouro	X			X	
22	-16,31	-51,47	Arenópolis	X			X	
23	-16,32	-50,91	Israelândia	X			X	
24	-16,35	-49,5	Inhumas	X			X	
25	-16,42	-51,82	Piranhas	X	X	X	X	
26	-16,43	-51,08	Iporá	X			X	
27	-16,47	-49,28	Santo Antônio de Goiás	X	X	X	X	X
28	-16,47	-49,94	Anicuns	X			X	
29	-16,52	-49,02	Goianópolis	X			X	
30	-16,61	-50,13	Turvânia	X			X	
31	-16,66	-49,49	Trindade	X			X	
32	-16,67	-49,26	Goânia	X			X	
33	-16,67	-50,65	Cachoeira de Goiás	X			X	
34	-16,72	-52,32	Doverlândia	X			X	
35	-16,8	-49,93	Palmeiras de Goiás	X			X	
36	-16,91	-49,45	Aragoiânia	X			X	
37	-16,95	-51,8	Caiapônia	X			X	
38	-16,95	-50,45	Paraúna	X			X	
39	-16,97	-51,82	Caiapônia	X			X	

Continua...

Tabela 2. Continuação.

ID.	Lat.	Long.	Município	Análise de tendência			Análise de projeção	
				Coefficiente angular	Análise de década	Incremento de temperatura	Temperatura extrema	Projeção futura
40	-17,08	-50,29	Paraúna	X			X	
41	-17,09	-49,67	Varijão	X			X	X
42	-17,11	-47,31	Cristalina	X	X	X	X	X
43	-17,11	-49,69	Varijão	X			X	
44	-17,29	-49,03	Piracanjuba	X			X	
45	-17,29	-49,38	Cromínia	X			X	
46	-17,33	-50,68	Paraúna	X			X	
47	-17,34	-49,93	Edéia	X			X	
48	-17,37	-51,08	Montividiu	X			X	
49	-17,51	-50,49	Paraúna	X			X	X
50	-17,52	-49,44	Pontalina	X			X	
51	-17,54	-50,56	Acreúna	X			X	
52	-17,58	-52,6	Mineiros	X			X	
53	-17,7	-49,11	Morrinhos	X			X	X
54	-17,7	-51,89	Jataí	X	X	X	X	
55	-17,71	-48,61	Caldas Novas	X			X	X
56	-17,72	-52,17	Jataí	X			X	
57	-17,73	-49,12	Morrinhos	X			X	
58	-17,73	-50,18	Edéia	X			X	

Continua...

Tabela 2. Continuação.

ID.	Lat.	Long.	Município	Análise de tendência			Análise de projeção	
				Coefficiente angular	Análise de década	Incremento da temperatura	Temperatura extrema	Projeção futura
59	-17,81	-49,63	Joviânia	X			X	
60	-17,86	-51,4	Jataí	X			X	
61	-17,88	-51,72	Jataí	X			X	X
62	-17,98	-48,67	Marzagão	X			X	
63	-17,98	-50,34	Maurilândia	X			X	
64	-18,05	-47,38	Catalão	X			X	X
65	-18,07	-50,18	Bom Jesus de Goiás	X			X	X
66	-18,24	-48,86	Buriti Alegre	X			X	
67	-18,3	-51,96	Serranópolis	X			X	
68	-18,34	-49,61	Itumbiara	X	X	X	X	
69	-18,5	-50,52	Quirinópolis	X			X	
70	-18,52	-51,09	Cachoeira Alta	X			X	
71	-18,6	-50,4	Quirinópolis	X			X	X
72	-18,77	-51,35	Itarumã	X			X	
73	-18,91	-50,85	Cachoeira Alta	X			X	
74	-19,1	-51,15	Itajá	X			X	
75	-19,14	-51,53	Itajá	X			X	

Projeção da temperatura média do ar

A projeção de cenários futuros do clima são previsões geradas por modelos climáticos que levam em consideração os diferentes panoramas de emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) propostos pelo IPCC. A projeção da temperatura média utilizada neste estudo considerou somente os meses de novembro a março, para um futuro próximo (2020 a 2045). Para a obtenção da projeção da temperatura média do ar foi aplicado um conjunto de 12 modelos climáticos de circulação global (Tabela 2) que fazem parte do CMIP5, para quatro Caminhos Representativos de Concentração (RCPs - 2.6, 4.5, 6.0 e 8.5) que representam diferentes trajetórias de concentração dos gases de efeito estufa no clima futuro (Van Vuuren et al., 2011). Os RCPs são calculados com base no número de reflexão de radiação, ou seja, a capacidade de dissipar calor em cada um dos cenários. A escala de projeções vai de 2.6, considerado um cenário otimista, a 8.5, considerado um cenário pessimista.

Tabela 2. Lista dos modelos climáticos de circulação global utilizados para a projeção da temperatura. Os modelos foram utilizados nos quatro Caminhos Representativos de Concentração (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 e RCP 8.5).

Modelo climático global	Instituto	País
BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	China
BCC-CSM1.1(m)	Beijing Climate Center, China Meteorological Administration	China
CSIRO-Mk3.6.0	Queensland Climate Change Centre of Excellence and Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization	Austrália
GFDL-CM3	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Estados Unidos
GFDL-ESM2g	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Estados Unidos
GFDL-ESM2m	NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	Estados Unidos
IPSL-CM5a-MR	Institute Pierre Simon Laplace	França
MIROC-ESM	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japão

Continua...

Tabela 2. Continuação.

Modelo climático global	Instituto	País
MIROC-ESM-CHEM	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	Japão
MIROC-MIROC5	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies and Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology	
UKMO-HadGEM2-ES	UK Met Office Hadley Centre	Inglaterra
NCC-NorESM1-M	Norwegian Climate Centre	Noruega

Devido aos erros inerentes aos modelos de circulação global, dois métodos de correções (*downscaling*) foram utilizados: a) método delta, que aplica a correção nas médias; e b) método fator, que corrige a média e a variância das saídas dos modelos climáticos de circulação global (Hawkins et al., 2013a, 2013b). Para o *downscaling* foram utilizadas as estações (ID.) 1, 2, 4, 19, 20, 27, 41, 42, 49, 53, 55, 61, 64, 65 e 71, descritas na Figura 1 e na Tabela 1.

Resultados e Discussão

Por meio da análise de tendência da temperatura média pelo método de regressão linear (coeficiente angular), foi constatado que há tendência de aumento da temperatura média no Estado de Goiás. Considerando todos os meses do ano (Figura 5A), referente ao período de 1980 a 2014, 57 das 75 estações climáticas utilizadas neste estudo exibiram coeficientes angulares com valores maiores do que zero. Esse aumento é mais evidente quando se analisa separadamente os meses das épocas da seca (Figura 5B) e das águas (Figura 5C). Para ambas as épocas, houve aumento no número de estações climáticas com coeficientes angulares maiores do que zero. Para a época das águas, esse aumento foi superior à época da seca em quatro estações climáticas. Back (2001), em uma análise de regressão para o período de 1961 a 1995, também obteve tendência significativa de aumento da temperatura média anual em Urussanga, no Estado de Santa Catarina.

A análise de década, que considera a temperatura média por décadas (1980 a 1989, 1990 a 1999, 2000 a 2010 e 2010 a 2014) por meio de uma regressão robusta, indicou visualmente o aumento crescente da temperatura média, a partir da década de 1980 (Figura 6). Para essa análise, foram consideradas somente seis estações climáticas, distribuídas nas diferentes regiões do Estado de Goiás. As estações que apresentaram os maiores aumentos de temperatura média foram Cristalina, Faina e Itumbiara. Essas seis estações apresentam em comum um aumento maior na temperatura média por década no segundo semestre (julho a dezembro). O menor aumento de temperatura média por década foi observado na estação de Piranhas.

A análise denominada incremento de temperatura exibiu uma variação na temperatura média de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Figura 7). Em comum com as análises realizadas anteriormente, os principais meses que apresentaram incremento na temperatura foram de maio a setembro, época da seca no Estado de Goiás. Das seis estações avaliadas, que foram as mesmas avaliadas na análise de décadas, as que apresentaram tendência significativa de incremento foram as de Cristalina e Faina (Figura 7).

Essa tendência observada nas avaliações também foi comprovada por Salviano et al. (2016), pelo método de Mann-Kendall, ao analisar a propensão do período de 1961 a 2011, concluindo que a maior parte do Brasil apresentou tendências positivas para a temperatura média. Em outro estudo, realizado com temperaturas máximas e mínimas, no Sul do Brasil, para o período de 1960 a 2002, Marengo e Camargo (2008) apontaram um aquecimento sistemático da Região Sul, detectando tendências positivas nas temperaturas máxima e mínima.

Essa tendência de aumento da temperatura média, ilustrada pelas análises desses estudos, pode ser explicada por diversas razões, como o efeito da urbanização, o aumento da emissão de gases de efeito estufa, as queimadas de matas e florestas, o desmatamento ou causas naturais. O Terceiro Relatório Científico (TAR) indicou que “existem novas e fortes evidências de que a maior parte do aquecimento observado durante os últimos 50 anos é atribuída às atividades humanas” (IPCC, 2001). Contudo, para a determinação exata das causas do aumento médio da temperatura no Estado de Goiás há a necessidade de dados climáticos com séries históricas maiores do que as usadas neste trabalho (1980 a 2014).

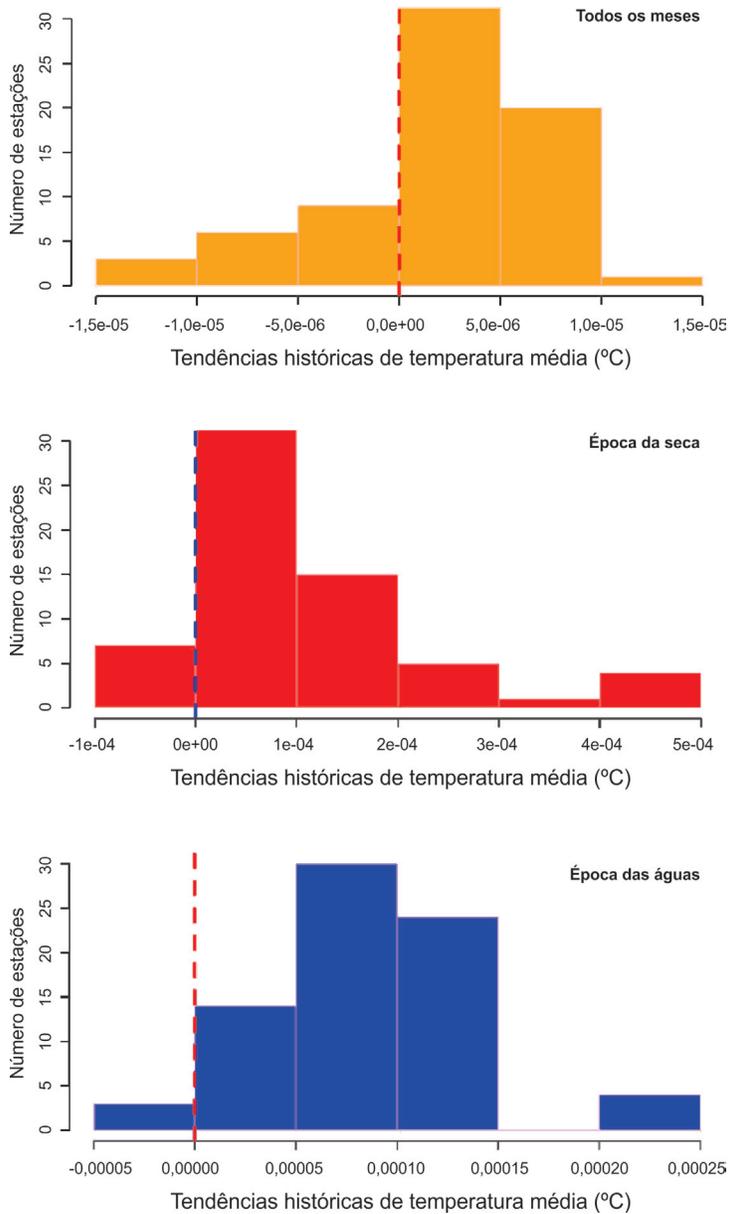


Figura 5. Análise do coeficiente angular para 75 estações climáticas do Estado de Goiás (1980 a 2014), considerando todos os meses do ano e épocas de plantio, da seca (abril a setembro) e das águas (outubro a maio). Linha vertical pontilhada representa coeficiente angular com valor igual a zero.

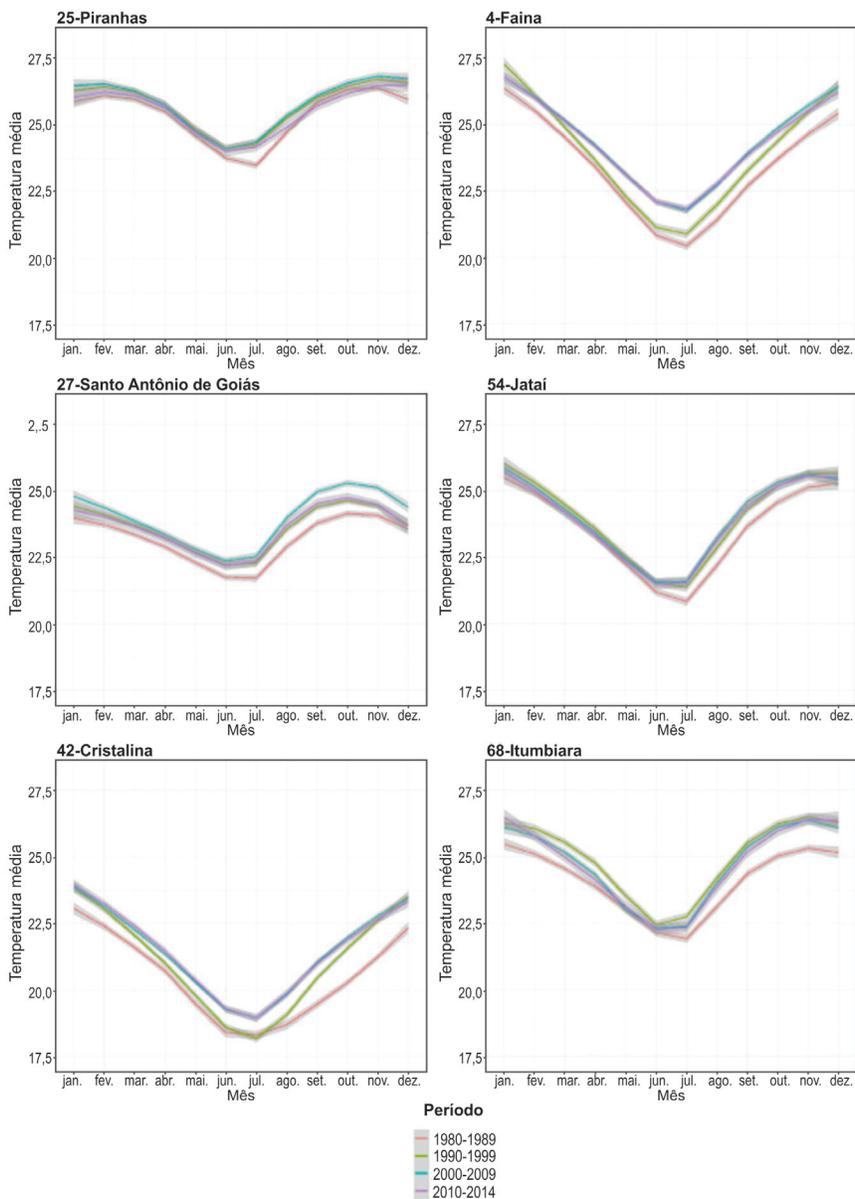


Figura 6. Análise do aumento da temperatura média por décadas (1980 a 1989; 1990 a 1999; 2000 a 2009 e 2010 a 2014) para as estações climáticas de Piranhas (25), Faina (40), Santo Antônio de Goiás (27), Jataí (54), Cristalina (42) e Itumbiara (68). Os números referem-se à distribuição geográfica das estações climáticas descritas na Figura 1.

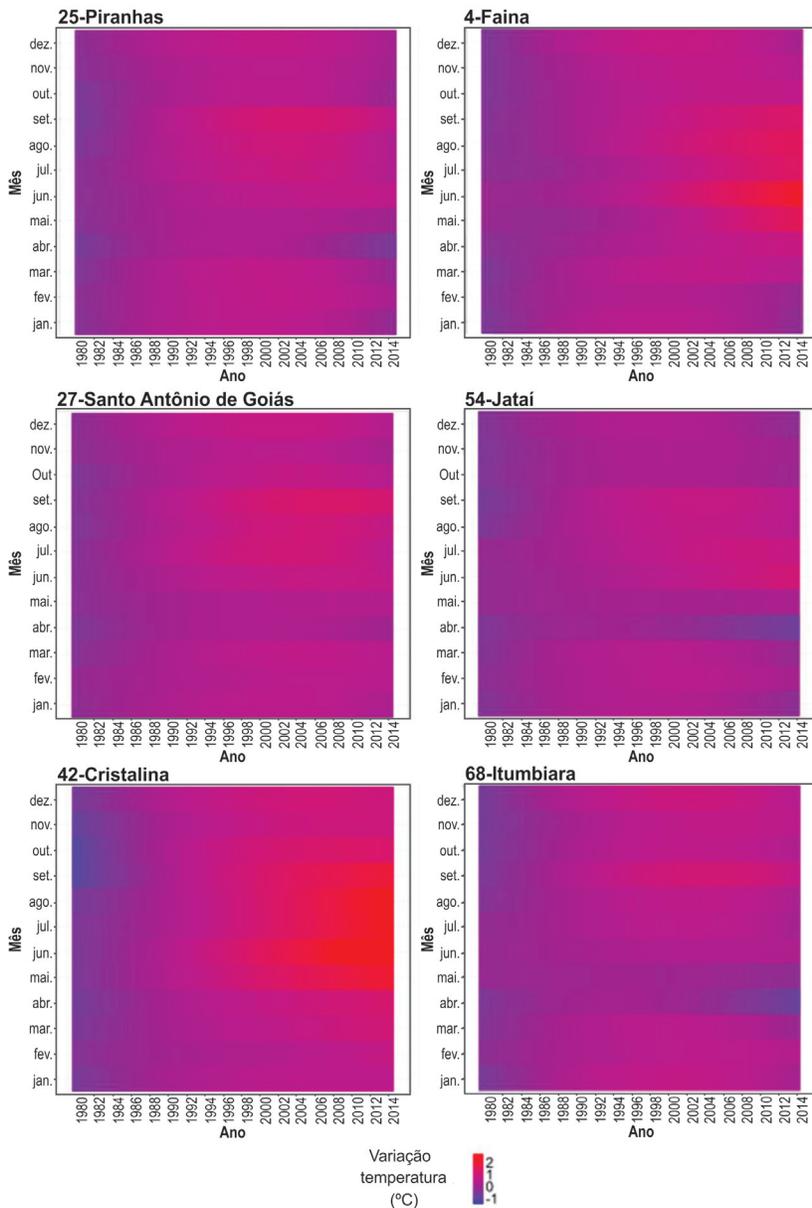


Figura 7. Variação da temperatura média em relação à baseline (temperatura média de referência para o período 1980 a 1995) para as estações climáticas de Piranhas (25), Faina (40), Santo Antônio de Goiás (27), Jataí (54), Cristalina (42) e Itumbiara (68). Os números referem-se à distribuição geográfica das estações climáticas descritas na Figura 1.

As temperaturas máximas e mínimas extremas que ocorrem no Estado de Goiás estão ilustradas nas Figuras 8 e 9, respectivamente. A região do oeste goiano apresentou as maiores ocorrências de temperaturas máximas extremas, variando de 33 °C a 35 °C. O período do ano de ocorrência do maior número de temperaturas máximas extremas foi entre os dias julianos de 220 a 291, concentrando entre os dias 267 a 291, que representam os meses de agosto, setembro e outubro, fase final da época da seca, característica do bioma Cerrado. O leste goiano (entorno do Distrito Federal) apresentou as menores temperaturas máximas médias (Figura 8).

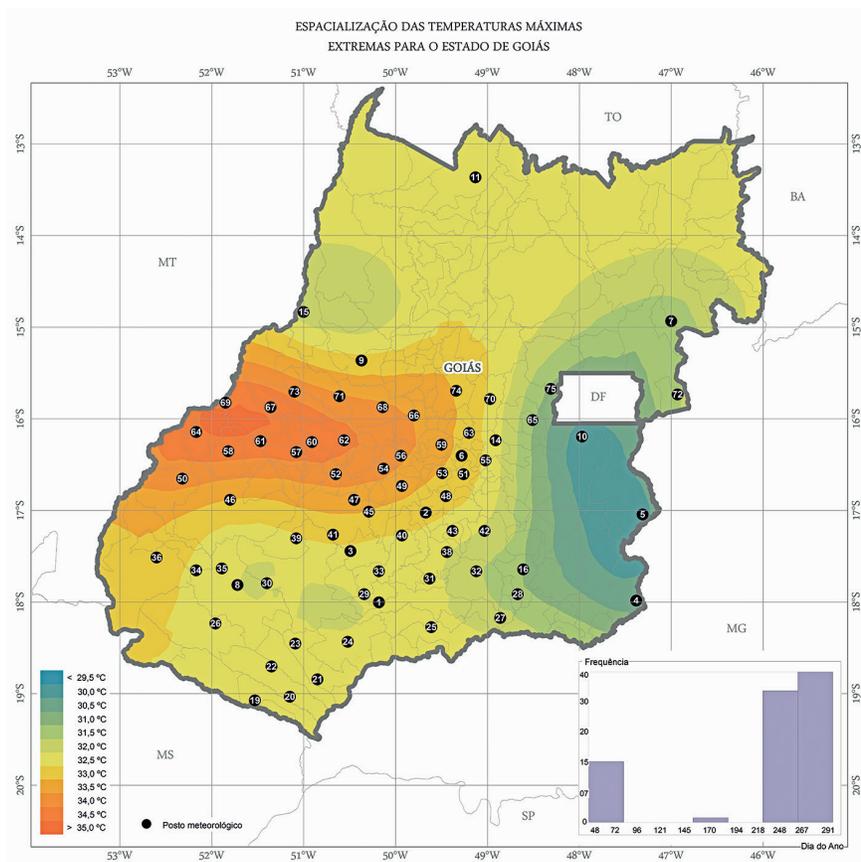


Figura 8. Distribuição das ocorrências de temperaturas máximas no Estado de Goiás. Os números representam a localização geográfica das estações e suas respectivas identificações. O Histograma localizado na parte de baixo, à direita, representa a distribuição das temperaturas máximas nos dias julianos.

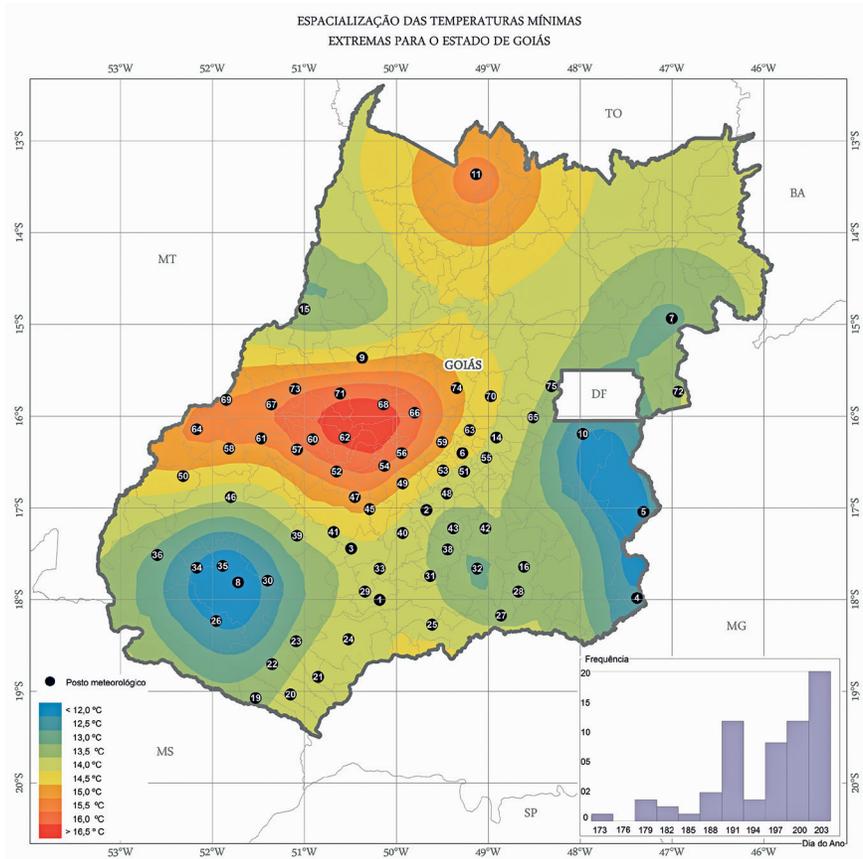


Figura 9. Distribuição das ocorrências de temperaturas mínimas no Estado de Goiás. Os números representam a localização geográfica das estações e suas respectivas identificações. O Histograma localizado na parte de baixo, à direita, representa a distribuição das temperaturas máximas nos dias julianos.

A avaliação de temperatura de extremos também indicou a alta frequência da ocorrência das temperaturas máximas, no dia do ano 291 (outubro). Esse registro ocorreu em 40 das 75 estações avaliadas.

No mapa de temperaturas mínimas históricas podem ser vistos diferentes pontos de registro das temperaturas mais baixas, estando elas localizadas na região do entorno do Distrito Federal e do sudoeste goiano. No entanto, a ocorrência das maiores temperaturas mínimas coincidiu com a região registrada no mapa de máximas (oeste goiano). As datas de incidência das temperaturas mínimas se mostraram bem distribuídas, coincidindo sempre em junho e julho.

Os resultados da projeção da temperatura para o futuro próximo (2020 a 2045) confirmou a tendência de aumento para os anos seguintes (Figura 10).

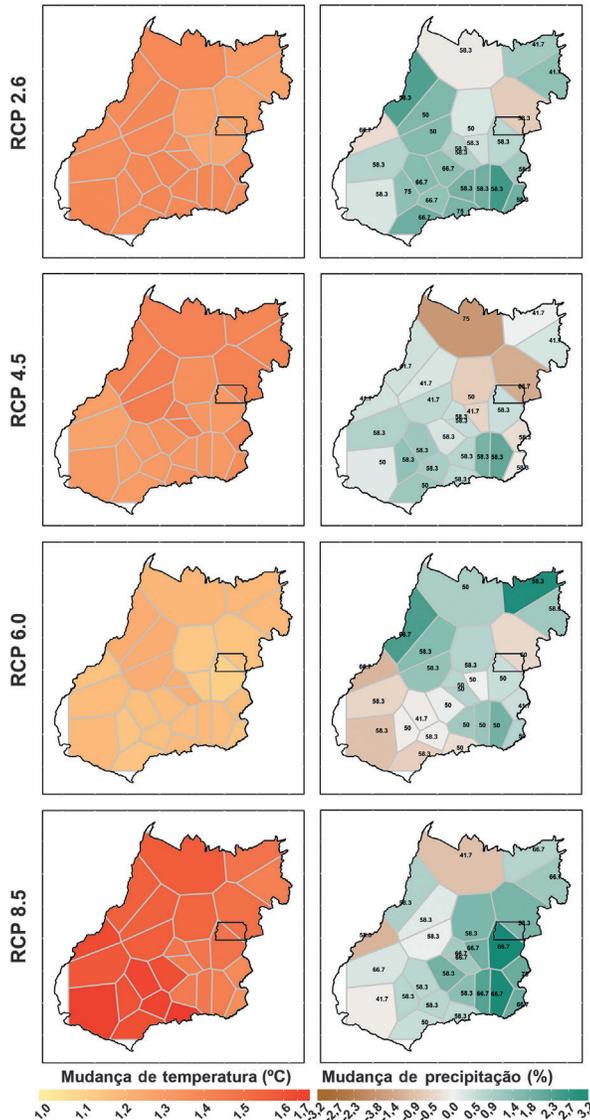


Figura 10. Mudanças sazonais projetadas na temperatura (esquerda) e na precipitação total (direita) no Estado de Goiás para o período futuro de 2020-2045, em relação a 1980-2005. Os números negativos nas parcelas de precipitação indicam a porcentagem de projeções de modelos de circulação global que concordam em direção à mudança.

O cenário de RCP 6.0 apresentou a menor projeção de aumento da temperatura diante dos outros. Já o cenário de RCP 8.5 (não mitigação) projetou temperaturas mais elevadas para o mesmo período. Segundo o IPCC (2007), os cenários de mudanças climáticas apontam para o aumento de 1,5 °C a 4 °C na temperatura média global para o ano 2100.

Conclusões

- a) Todos os métodos de análise indicaram que houve aumento da temperatura média do ar ao longo dos anos (1980-2013) no Estado de Goiás;
- b) As temperaturas mais elevadas, registradas no estudo, coincidiram com o período de transição da época da seca para a das águas (agosto a outubro);
- c) Na projeção de futuro próximo (2020 a 2045), o aumento da temperatura é confirmado para todos os Caminhos Representativos de Concentração (RCPs).

Referências

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, tendência, anomalia e mudança climática**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia de Biosistemas, 2010. 8 f. Apostila.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001. DOI: 10.1590/S0100-204X2001000500001

CHALLINOR, A. J.; WHEELER, T. R.; SLINGO, J. M.; HEMMING, D. Quantification of physical and biological uncertainty in the simulation of the yield of a tropical crop using present-day and doubled CO₂ climates. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B**, v. 360, n. 1463, p. 2085-2094, Nov. 2005. DOI: 10.1098/rstb.2005.1740

D'AFONSECA, D. S.; HEINEMANN, A. B.; SILVA, S. C.; MORAES, A. C. **Metodologia para o preenchimento de dados climáticos diários faltantes**: uma aplicação para os municípios de Goiás a partir da base de dados de clima da Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 91 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 296).

FRECKLETON, R. P.; WATKINSON, A. R.; WEBB, D. J.; THOMAS, T. H. Yield of sugar beet in relation to weather and nutrients. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 93, n. 1, p. 39-51, Jan. 1999. DOI: 10.1016/S0168-1923(98)00106-3

GADGIL, S.; RAO, P. R. S.; SRIDHAR, S. Modeling impact of climate variability on rainfed groundnut. **Current Science**, v. 76, n. 4, p. 557-569, 1999.

HAWKINS, E.; FRICKER, T. E.; CHALLINOR, A. J.; FERRO, C. A. T.; HO, C. K.; OSBORNE, T. M. Increasing influence of heat stress on French maize yields from the 1960s to the 2030s. **Global Change Biology**, v. 19, n. 3, p. 937-947, Mar. 2013b. DOI: 10.1111/gcb.12069

HAWKINS, E.; OSBORNE, T. M.; HO, C. K.; CHALLINOR, A. J. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealised case study over Europe. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 170, p. 19-31, Mar. 2013a. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.04.007

IPCC. **Climate change 2001: the scientific basis**. 2001. Disponível em: <http://pubman.mpg.de/pubman/item/escidoc:995493/component/escidoc:995492/WG1_TAR-FRONT.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2017.

IPCC. **Climate Change 2007: the physical science basis**. 2007. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_wg1_report_the_physical_science_basis.htm>. Acesso em: 9 ago. 2017.

IPCC. **Climate change 2013: the physical science basis**. 2013. Disponível em: <http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf>. Acesso em: 9 ago. 2017.

LIU, B. et al. Similar estimates of temperature impacts on global wheat yield by three independent methods. **Nature Climate Change**, v. 6, n. 12, p. 1130-1136, Sept. 2016. DOI: 10.1038/nclimate3115

MARENCO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. 2. ed. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 82 p. (Biodiversidade, 26).

MARENCO, J. A.; CAMARGO, C. C. Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960-2002. **International Journal of Climatology**, v. 28, n. 7, p. 893-904, June 2008. DOI: 10.1002/joc.1584

MARTIN, T. N.; DOURADO NETO, D.; STORCK, L.; BURAUUEL, P.; SANTOS, E. A. Regiões homogêneas e tamanho de amostra para atributos do clima no Estado de São Paulo, Brasil. **Ciência Rural**, v. 38, n. 3, p. 690-697, maio/jun. 2008.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: E. Blücher, 2004. 535 p.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Meteorologia agrícola**. ed. rev. ampl. [Piracicaba]: Esalq, 2007. 129 p.

SALVIANO, M. F.; GROppo, J. D.; PELLEGRINO, G. Q. Análise de tendências em dados de precipitação e temperatura no Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p. 64-73, jan./mar. 2016. DOI: 10.1590/0102-778620150003

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artemed, 2004. 719 p.

VAN VUUREN, D. P.; STEHFEST, E.; ELZEN, M. G. J. den; KRAM, T.; VAN VLIET, J.; DEETMAN, S.; ISAAC, M.; GOLDEWIJK, K. K.; HOF, A.; BELTRAN, A. M.; OOSTENRIJK, R.; VAN RUIJVEN, B. RCP 2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 °C. **Climate Change**, v. 109, n. 1/2, p. 95-116, Nov. 2011. DOI: 10.1007/s10584-011-0152-3

Embrapa

Arroz e Feijão