



**LUIZ AUGUSTO RODRIGUES GAIOSO**

**ANÁLISE DE VARIAÇÕES DE TEMPERATURA DO AR  
USANDO O MODELO CNRM-ESM2-1 NO ESTADO DE  
MINAS GERAIS, BRASIL**

**LAVRAS – MG**

**2022**

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>4</b>
<b>2 Material e métodos</b> .....	<b>5</b>
2.1 Localização e descrição da área em estudo .....	6
2.2 Dados climáticas do período de referência .....	7
2.3 Dados climáticos do modelo CNRM-ESM2-1 .....	7
2.4 Estatísticas descritivas .....	9
2.5 Comparações .....	10
<b>3 RESULTADOS</b> .....	<b>10</b>
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	<b>18</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>21</b>

## O uso de CNRM-ESM2-1 para análise das variações climáticas da temperatura do ar no estado de Minas Gerais, Brasil

Luiz Augusto Rodrigues Gaioso<sup>1</sup>, Marcelo de Carvalho Alves<sup>2</sup>, Luciana Sanches<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Engenharia Ambiental e Sanitária, UFLA Campus Lavras, MG –  
lgaioso@estudante.ufla.br*

<sup>2</sup>*DEA – Departamento de Engenharia Agrícola, UFLA Campus Lavras, MG –  
marcelo.alves@ufla.br*

<sup>3</sup>*DESA – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMT, Campus  
Cuiabá, MT – lsanches@hotmail.com*

### RESUMO

Este artigo se refere a uma simulação referente às variações climáticas da temperatura do ar no estado de Minas Gerais, visto que as modificações do clima são constantes através da atividade humana sobre o meio ambiente. Assim, a temática apresenta natureza social acerca de demonstrar preocupação com os recursos naturais relacionados ao macro e microclima. Este trabalho objetivou analisar as alterações na temperatura do ar no estado de Minas Gerais estimada pelo modelo CNRM-ESM2-1 ssp 126 – National Centre for Meteorological Research. Além disso, os objetivos específicos se referem a conceituar as mudanças climáticas, apresentar os efeitos das alterações do clima sobre a temperatura, destacar a variação da temperatura do ar no estado e construir um comparativo entre os dados históricos deste tipo de variação em virtude da previsão gerada através do AR6 Climate Change modelo CNRM-ESM2-1 e modelo de Fick. Para a construção da pesquisa, foi caracterizada a área do estudo e através da obtenção de dados foi aplicado o modelo CNRM-ESM2-1 para assegurar as projeções, previsões e variabilidades do estudo acerca das incertezas e mudanças do clima. Por meio da estatística descritiva (valores mínimos, primeiro quartil, mediana, média, terceiro quartil e valores máximos) e do mapeamento foi possível verificar uma sazonalidade de característica da temperatura do ar no período com maiores valores entre os meses de setembro e abril e menores entre maio e agosto. Em síntese, o estudo realizado conclui que os extremos da temperatura apresentaram padrões espaço-temporal junto ao efeito continental devido ao aumento da temperatura no sentido noroeste-sudeste, de modo que apresentou grandes áreas no oeste do estado com até 2,4 °C de anomalia climática relacionada à temperatura do ar.

**Palavras-chave:** Ambiente. Clima. Previsão. Região. Simulação.

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária

<sup>2</sup>Orientador

<sup>3</sup>Autora

## ABSTRACT

This article refers to a simulation related to climate variations in air temperature in the state of Minas Gerais, since climate changes are constant through human activity on the environment. Thus, the theme has a social nature about showing concern for natural resources related to macro and microclimate. This study aimed to analyze the changes in air temperature in the state of Minas Gerais estimated by the model CNRM-ESM2-1 ssp 126 – National Center for Meteorological Research. In addition, the specific objectives refer to conceptualizing climate change, presenting the effects of climate change on temperature, highlighting the variation in air temperature in the state and building a comparison between the historical data of this type of variation due to the forecast. generated through the AR6 Climate Change model CNRM-ESM2-1 and the Fick model. For the construction of the research, the study area was characterized and, through the acquisition of data, the CNRM-ESM2-1 model was applied to ensure the projections, forecasts and variability of the study regarding uncertainties and climate changes. Through descriptive statistics (minimum values, first quartile, median, mean, third quartile and maximum values) and mapping, it was possible to verify a seasonality of the air temperature characteristic in the period with the highest values between the months of September and April and the lowest between May and August. In summary, the study concluded that the temperature extremes presented spatio-temporal patterns together with the continental effect due to the increase in temperature in the northwest-southeast direction, so that it presented large areas in the west of the state with up to 2.4 °C of climate anomaly related to air temperature.

**Keywords:** Environment. Climate. Forecast. Region. Simulation.

## 1 Introdução

As alterações climáticas provenientes da ação humana sobre o planeta terra se tratam de uma situação altamente discutida no meio social, sobretudo considerando a importância dos recursos naturais. Diante disso, é válido enfatizar que o elemento ar apresenta grande relevância no que tange os assuntos inerentes ao macro e microclima em virtude das mudanças que ocorrem constantemente na esfera climática, pois quaisquer tipos de mudanças tendem a afetar o modo de vida do ser humano, bem como a realização das atividades básicas e essenciais.

A mudança no clima é naturalmente variável, entretanto, a emissão de dióxido de carbono, metano e óxido nitroso provocam alterações permanentes e irreversíveis no clima e isso afeta diretamente o padrão dos ventos, precipitações, circulação dos oceanos, bem como a temperatura do ar (IPCC, 2021). Ademais, a variação constante da temperatura média fica cada vez mais elevada e isso tende a expandir as oscilações.

As alterações no clima são cada vez mais perceptíveis nas diversas partes do planeta, visto que dinamizam diversos elementos, tais como a temperatura média do ar,

qualidade da água, precipitação pluviométrica, dentre outros (Santos; Galvinctio, 2013). Além disso, os autores mencionam que a dinâmica inerente às mudanças climáticas provoca grande consequência para a qualidade de vida, assim, é importante destacar os modelos climáticos.

Os modelos climáticos simulam por meio de equações matemáticas a física do sistema climático, incluindo a atmosfera, oceano, superfície terrestre e gelo (Yang et al., 2021). Atualmente, na fase 6 do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados (CMIP6) (Eyring, Bony, et al., 2016; Eyring, Gleckler, et al., 2016), as projeções climáticas futuras até 2100 foram processadas para modelos climáticos globais (GCMs) sob diferentes cenários.

Esses cenários são impulsionados por um conjunto de variáveis baseados no desenvolvimento socioeconômico e tecnológico, os Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs) (O'Neill et al., 2014). Os SSPs são pautados em quatro caminhos alternativos para o desenvolvimento socioeconômico, incluindo desenvolvimento sustentável (SSP126) (Vuuren et al., 2017), desenvolvimento intermediário (SSP245) (Fricko et al., 2017), rivalidade regional (SSP370) (Fujimori et al., 2017), desigualdade e desenvolvimento movido a combustíveis fósseis (SSP585) (Kriegler et al., 2017). Sendo os valores referentes a forçamento de energia por  $m^2$ , respectivamente 1,26  $whats/m^2$ , 2,45  $whats/m^2$ , 3,70  $whats/m^2$  e 5,85  $whats/m^2$ .

Os reflexos dos impactos das alterações climáticas despertam o anseio da comunidade acadêmica e científica em analisar possíveis cenários atrelados a essas mudanças no contexto regional, conforme Gonçalves (2013). Frente a isso, a intenção é despertar maior consciência na população acerca dos impactos negativos que possivelmente se tornem reais para o clima.

Portanto, o objetivo geral da pesquisa é representar uma possível realidade com base em fatores que influenciam a temperatura do ar no estado de Minas Gerais, destacar a variação da temperatura do ar no estado de Minas Gerais e construir um comparativo entre os dados históricos deste tipo de variação em virtude da previsão gerada através do modelo CNRM-ESM2-1, de Fick.

## **2 Material e métodos**

## 2.1 Localização e descrição da área em estudo

O estudo foi realizado no estado de Minas Gerais localizado na região Sudeste do Brasil apresentando área de superfície de 586.513.993 km<sup>2</sup>. Esse estado é classificado como o segundo mais populoso do Brasil, com densidade populacional de 33,41 habitantes por km<sup>2</sup> (IBGE, 2020).

O gradiente altitudinal varia de 0 a 2718 m acima do nível do mar com altitude média de 582 m apresentando três grupos climáticos: A, B e C, que correspondem ao clima tropical chuvoso, seco e temperador quente.

O estado de Minas Gerais é a terceira maior economia brasileira a participar do Produto Interno Bruto Nacional, sobretudo devido à economia ser diversificada e dinâmica de modo que as indústrias e a agropecuária bem como as atividades de extração dos recursos mineiras se destacam para a movimentação econômica (IBGE, 2020). A Figura 1 representa o mapa regional de Minas Gerais.

Figura 1 – Mapa de Minas Gerais com divisão regional



Fonte: Matias (2022). Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/minas-gerais.htm>

## 2.2 Dados climáticos do período de referência

Os dados climatológicos do período de referência foram obtidos pelo site *World Clim* e apresentam históricos de temperatura média mensal do ar de 1970-2000, reduzidos do produto de referência CRU-TS-4.03 foram usados como o período de referência de temperatura (Harris et al., 2014). A temperatura média do ar foi obtida a partir do banco de dados de resolução espacial de 2,5 minutos (5 km<sup>2</sup>) (Fick e Hijmans, 2017).

## 2.3 Dados climáticos do modelo CNRM-ESM2-1

O modelo CNRM-ESM2-1 possui base no núcleo físico do modelo CNRM-CM6-1, incluindo elementos adicionais do sistema terrestre com a finalidade de acoplar os componentes físicos. Dentre eles se destaca a química atmosférica interativa (carbono terrestre e oceânico).

Este modelo assegura projeções e variabilidades, além de que anseia procurar e documentar as incertezas em função de todas as variáveis internas ao modelo. O modelo também inclui os processos de avaliação dos impactos ambientais gerados ao ecossistema terrestre, além de considerar os procedimentos físicos e biogeoquímicos relevantes de acordo com a configuração dos modelos acoplados (Eyring et al., 2016; O'neil et al., 2014).

A sexta fase do Projeto de Intercomparação de Modelos Acoplados se refere a um protocolo de experimentos padrões que estudam as saídas de modelos de circulação geral entre a atmosfera e o oceano e modelos do sistema terrestre acoplados, de modo que os resultados se tratam de abordagens científicas que envolvem os processos para a elaboração do Sexto Relatório de Avaliação (AR6) produzido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC com a intenção de expandir a compreensão sobre o clima e suas estimativas de mudanças futuras (Eyring et al., 2016).

Deste modo, o modelo selecionado para a validação do estudo utiliza o núcleo físico-dinâmico do modelo climático acoplado oceano-atmosfera, e este é responsável pela emissão de *feedbacks* detalhados sobre o sistema terrestre ativado por química atmosférica interativa, além da interação de carbono terrestre e oceânico.

Dado o modelo adotado, o IPCC desenvolveu um novo conjunto de cenário climático junto ao AR6, o SSP – *Shared Socioeconomic Pathways* ou caminhos socioeconômicos compartilhados, assim o cenário foi aperfeiçoado e se tornou mais otimista por meio de sua projeção que objetiva a simulação de desenvolvimentos compatíveis a determinadas metas, assim, esse cenário pressupõe a adoção de medidas para proteger o clima.

Dado o big data envolvido na modelagem de mudanças climáticas apenas para o Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado fase 6 (CMIP6) disponível no site WorldClim, valores mensais de temperatura mínima, temperatura máxima e precipitação foram fornecidas para nove modelos climáticos globais (GCMs): BCC-CSM2-MR, CNRM-CM6-1, CNRM-ESM2-1, CanESM5, GFDL-ESM4, IPSL-CM6A-LR, MIROC-ES2L, MIROC6, MRI-ESM2-0 e quatro Caminhos Socioeconômicos Compartilhados (SSPs): 126, 245, 370 e 585. Os valores mensais também foram calculados em média em períodos de 20 anos (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100) e os dados estavam disponíveis em resoluções espaciais de 10 minutos, 5 minutos e 2,5 minutos.

O ssp126 do CNRM-ESM2-1 foi adotado como cenário por ser menos rigoroso no que tange os elementos de forçamento, fluxo, energia e área em relação aos demais cenários.

As variáveis climáticas foram temperatura mínima, média mensal (°C) e temperatura máxima média mensal (°C). O Projeto de Intercomparação de Modelo Acoplado fase 6 (CMIP6) máximo (Tmax) e temperatura mínima (Tmin) (°C) foram usados para caracterizar a variação futura da temperatura média do ar (Tavg):

$$T_{avg} = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} \quad (1)$$

O conjunto de dados CMIP6 foi reduzido e calibrado (correção de viés) e distribuído no clima de linha de base do *World Clim* v2.1. O modelo CNRM-ESM2-1 (Séférián et al., 2019) foi utilizado sob o caminho socioeconômico compartilhado (SSP) 126 nos períodos futuros de 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100 em 2,5 minutos (5km<sup>2</sup>) resolução espacial.



## 2.4 Estatísticas descritivas

Estatísticas resumidas foram realizadas para cada período de forma comparativa, a fim de determinar os valores mínimos (Min), primeiro quartil (1° Qu), mediana, média, terceiro quartil (3° Qu) e máximo (Max) da média mensal e anual da temperatura do ar (T) (°C) do período de 1970 a 2100.

Com isso, a fórmula usada para o cálculo do primeiro quartil é a seguinte:

$$k = \frac{n+2}{4} \quad (2)$$

Portanto, vale enfatizar os termos bem como a descrição da fórmula supracitada, onde (k) é a posição no conjunto de dados, e n o número de dados. De modo geral, o primeiro quartil corresponde ao valor da posição central entre o primeiro termo e a mediana.

Já a mediana é representada pela seguinte fórmula:

$$Mediana = \left( \frac{x_2 + x_3}{2} \right) \quad (3)$$

Portanto, a mediana é classificada em uma medida da tendência central do conjunto de números (x), logo, é tratada como medida de posição e se refere ao “meio” da coleção de valores numéricos em dada amostra. Deste modo, é necessário que os números sejam colocados em ordem crescente ou decrescente. Se houver número ímpar, a mediana é caracterizada através do valor central desse conjunto de números. Mas se houver quantidade par de números, é preciso calcular a média dos dois números centrais e este valor será a mediana.

A mediana é usada no centro de um grupo de números, assim, trata-se da soma de todas as observações divididas pelo número de observações e é demonstrada conforme a fórmula abaixo.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4)$$

Diante dessa fórmula,  $x_i$  é uma observação e  $n$  é o número de observações não ausentes.

O terceiro quartil é representado pela fórmula de:

$$k = \frac{3n+2}{4} \quad (5)$$

De modo que é uma estatística descritiva medida através da posição de um conjunto de dados, assim, se assemelha à mediana e denota o ponto médio de determinado conjunto numérico. Deste modo, os dados devem ser agrupados para a determinação dos quartis, logo, no terceiro quartil,  $(n)$  é o número de elementos e  $(k)$  é a posição. Já os valores mínimos e máximos se referem respectivamente ao menor valor do conjunto de dados e ao maior valor destes mesmos dados.

## 2.5 Comparações

Os dados de temperatura média do ar de cada período futuro foram usados para avaliar a anomalia térmica observada entre cada período em relação ao período atual, de modo que as variáveis  $dT_1$ ,  $dT_2$ ,  $dT_3$  e  $dT_4$ , foram relacionadas às diferenças entre os períodos 2021-2040, 2041- 2060, 2061-2080 e, 2081-2100 e o período de referência, 1970-2000, respectivamente.

A temperatura média do ar no período atual (1970-2000), rebaixada do produto de referência CRU-TS-4.03 é utilizada como período de temperatura de referência (Harris et al., 2014 ) quando comparado com períodos decenais (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100) avaliados entre 2021 e 2100, no cenário ssp126 do modelo CNRM-ESM2-1 (Séférián et al., 2019).

## 3 Resultados

Em geral, observou-se uma sazonalidade característica definida da temperatura média do ar, com valores mais baixos em junho e julho e valores mais altos em janeiro e fevereiro. Em relação à amplitude entre a temperatura mínima e máxima no período atual observamos uma variação de 13°C a 16,1°C. No final do século 21, a temperatura

aumentará em 2,1°C, mas nos primeiros 20 anos analisados, o aumento de temperatura foi de 1,2°C. O aumento da temperatura entre os períodos de 2021 a 2040, 2041 a 2060, 2061 a 2081 e de 2081 a 2100 foram 1,2°C, 0,6°C, 0,2°C e 0,1°C, respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1: Estatísticas resumidas dos valores mínimo (Min), primeiro quartil (1º Qu), mediana, média, terceiro quartil (3º Qua) e máximo (Max) da temperatura do ar média mensal e anual (T) (graus Celsius) do período de 1970 a 2100.

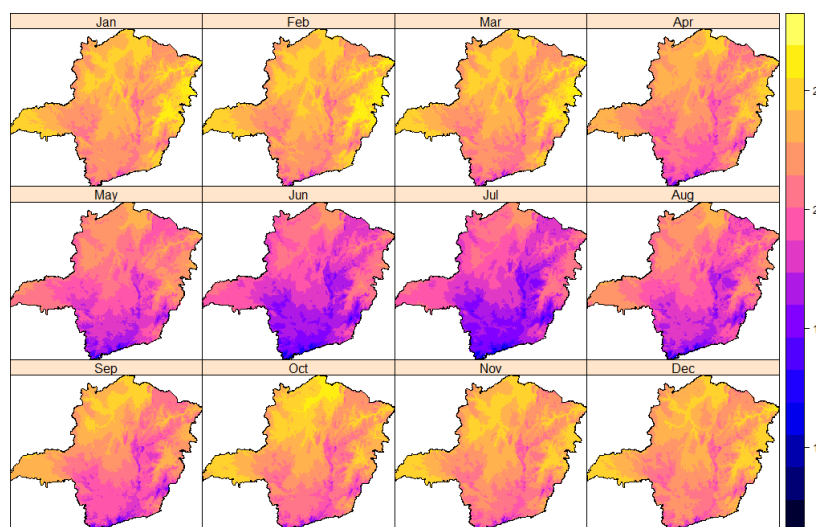
Estatíst	Período	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Mín	1970-2000	13.4	13.2	12.9	11.4	9.8	8.4	7.7	8.6	9.5	10.9	11.9	12.5	10.9
1stQu	1970-2000	22.2	22.3	22.0	20.6	18.8	17.0	16.6	18.1	19.7	21.2	21.4	21.6	20.2
Mediana	1970-2000	23.1	23.3	23.0	21.8	20.3	18.6	18.3	19.8	21.5	22.7	22.6	22.5	21.5
Média	1970-2000	23.1	23.3	23.0	21.7	20.0	18.4	18.1	19.7	21.4	22.5	22.5	22.6	21.4
3rdQu	1970-2000	24.1	24.3	24.1	23.0	21.4	19.9	19.7	21.3	23.1	24.1	23.8	23.7	22.7
Máx	1970-2000	26.4	26.8	26.4	25.2	23.9	22.3	22.3	23.9	25.6	26.3	25.7	25.9	24.7
Mín	2021-2040	14.6	14.4	14.1	12.6	10.8	9.5	8.7	9.6	10.6	11.9	12.8	13.6	12.0
1stQu	2021-2040	23.5	23.6	23.3	22.0	20.1	18.4	17.8	19.3	20.9	22.4	22.5	22.8	21.4
Mediana	2021-2040	24.4	24.6	24.5	23.4	21.6	20.0	19.5	20.9	22.7	24.0	23.8	23.8	22.8
Média	2021-2040	24.4	24.6	24.4	23.2	21.3	19.8	19.3	20.8	22.6	23.8	23.6	23.7	22.6
3rdQu	2021-2040	25.5	25.7	25.6	24.7	22.8	21.3	20.9	22.5	24.4	25.4	25.1	24.9	24.1
Máx	2021-2040	27.8	28.2	27.7	26.5	25.3	23.6	23.5	24.9	26.8	27.9	27.1	26.9	26.0
Mín	2041-2060	15.1	14.8	14.6	12.9	11.3	10.0	9.0	10.2	11.1	12.8	13.6	14.2	12.5
1stQu	2041-2060	24.0	24.0	23.9	22.3	20.6	19.0	18.3	19.9	21.6	23.3	23.4	23.5	22.0
Mediana	2041-2060	24.9	25.0	25.0	23.7	22.2	20.6	20.0	21.6	23.3	24.8	24.7	24.5	23.4
Média	2041-2060	24.9	25.0	24.9	23.5	21.9	20.3	19.8	21.4	23.2	24.7	24.5	24.5	23.2
3rdQu	2041-2060	26.0	26.1	26.2	25.1	23.4	21.9	21.4	23.1	25.0	26.3	26.0	25.7	24.7
Máx	2041-2060	28.2	28.6	28.3	26.8	25.9	24.1	24.0	25.5	27.3	28.5	27.9	27.7	26.5
Mín	2061-2080	15.3	15.1	14.9	13.3	11.7	10.1	9.4	10.4	11.3	12.9	13.6	14.3	12.7
1stQu	2061-2080	24.1	24.3	24.2	22.8	21.0	19.2	18.7	20.1	21.8	23.3	23.5	23.5	22.2
Mediana	2061-2080	25.0	25.3	25.3	24.2	22.5	20.8	20.4	21.8	23.6	24.9	24.8	24.6	23.6
Média	2061-2080	25.0	25.2	25.2	24.0	22.2	20.5	20.2	21.6	23.4	24.7	24.6	24.5	23.4
3rdQu	2061-2080	26.1	26.4	26.5	25.6	23.7	22.0	21.8	23.3	25.3	26.3	26.0	25.7	24.9
Máx	2061-2080	28.4	28.9	28.6	27.4	26.2	24.3	24.2	25.7	27.6	28.8	28.0	27.9	26.8
Mín	2081-2100	15.1	14.9	14.7	13.2	11.8	10.4	9.6	10.4	11.6	13.1	14.2	14.4	12.8

1stQu	2081-2100	24.0	24.1	24.0	22.6	21.0	19.4	18.9	20.1	22.1	23.7	24.0	23.6	22.3
Mediana	2081-2100	24.8	25.1	25.1	23.9	22.5	21.0	20.5	21.7	23.7	25.3	25.4	24.6	23.6
Média	2081-2100	24.9	25.0	25.0	23.8	22.2	20.7	20.3	21.6	23.7	25.1	25.2	24.6	23.5
3rdQu	2081-2100	25.9	26.1	26.2	25.3	23.7	22.2	21.9	23.3	25.5	26.8	26.7	25.8	24.9
Máx	2081-2100	28.3	28.7	28.5	27.2	26.2	24.4	24.3	25.6	27.6	29.1	28.7	28.0	26.8

Fonte: Os autores (2022)

Em relação ao mapeamento da temperatura média do ar, foram observados padrões de variação de temperatura mais quentes entre setembro e abril, alterados por padrões semelhantes de temperatura mais baixa entre maio e agosto. Em ambos os casos, observou-se um gradiente de temperatura de sul para norte, com variações características no centro, e regiões sob influência da variação do relevo e temperaturas mais frias, conforme exposto na Figura 2.

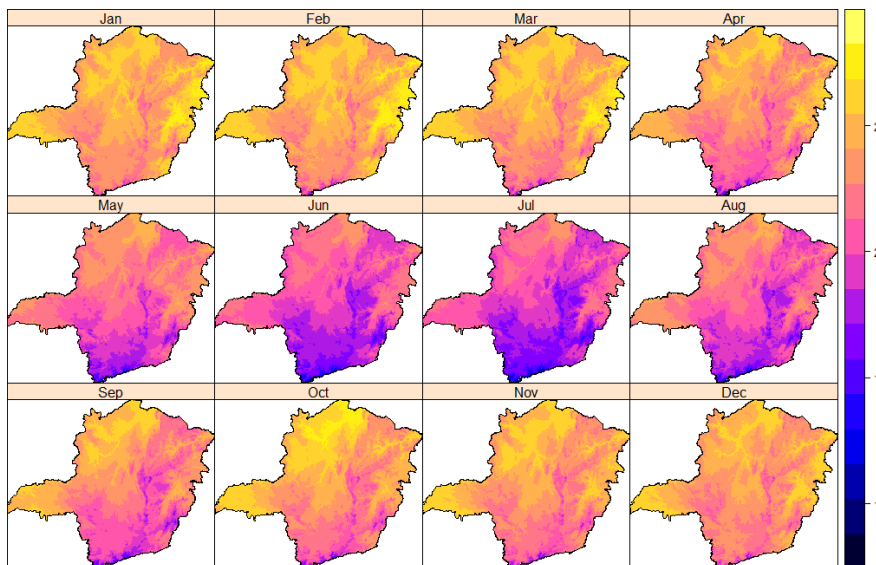
Figura 2 - Variação espacial da temperatura média mensal do ar (graus Celsius) em Minas Gerais, Brasil, de 1970 a 2000



Fonte: Os autores (2022)

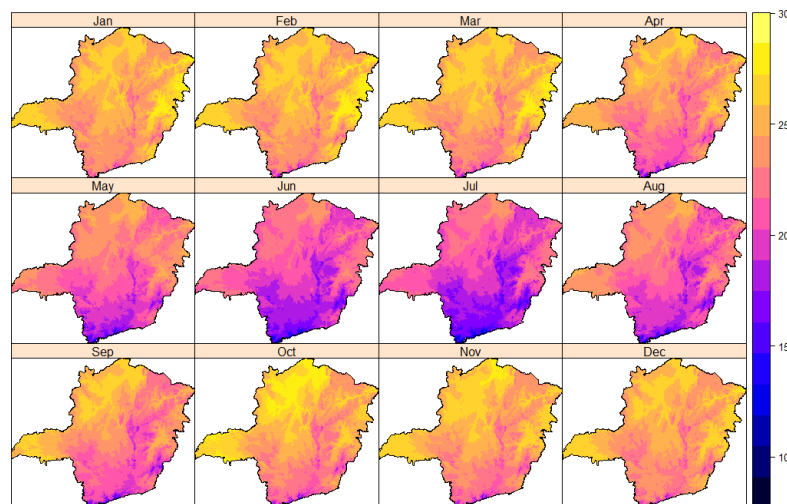
Considerando os períodos futuros no cenário de mudanças climáticas ssp126, a variação sazonal de temperatura apresentou padrões semelhantes em relação ao atual período de referência, mas com pequenas variações que determinaram diferentes faixas de classificação mensal de temperatura em função da variação de temperatura ao longo do século XXI utilizando os mesmos critérios de separação de classes entre cada período avaliado (Figuras 3, 4, 5, 6).

Figura 3 - Variação espacial da temperatura média mensal do ar (graus Celsius) em Minas Gerais, Brasil, de 2021 a 2040.



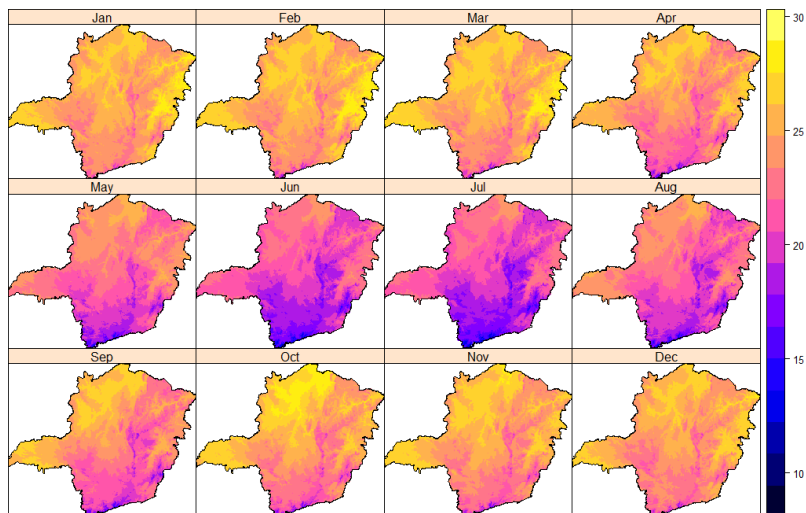
Fonte: Os autores (2022)

Figura 4 – Variação espacial da temperatura média mensal do ar (graus Celsius) em Minas Gerais, Brasil, de 2041 a 2060.



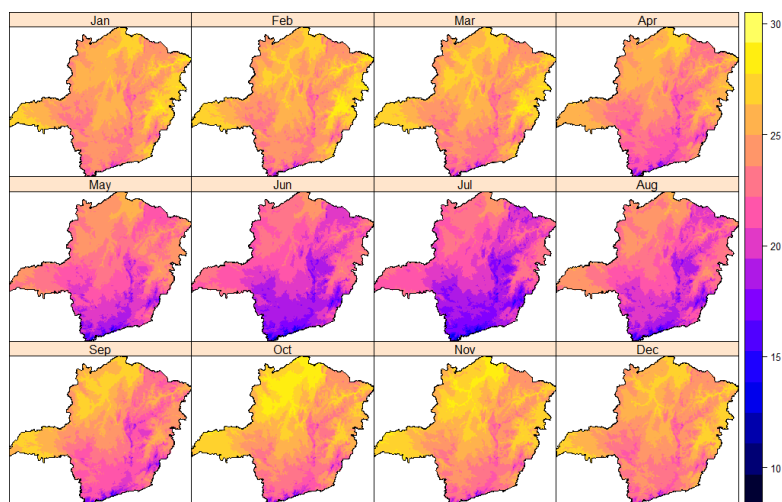
Fonte: Os autores (2022)

Figura 5 – Variação espacial da temperatura média mensal do ar (graus Celsius) em Minas Gerais, Brasil, de 2061 a 2080.



Fonte: Os autores (2022)

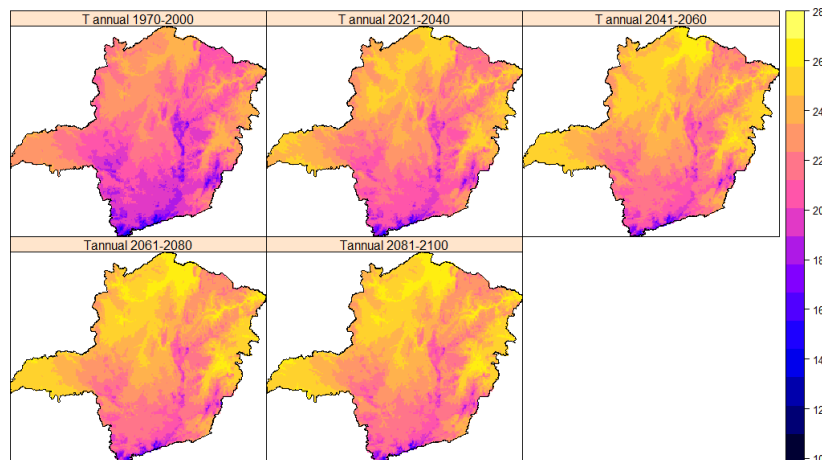
Figura 6 – Variação espacial da temperatura média mensal do ar (graus Celsius) em Minas Gerais, Brasil, de 2081 a 2100.



Fonte: Os autores (2022)

Observando a variação espacial da temperatura média anual do ar, ficou claro que a temperatura aumenta progressivamente no estado de Minas Gerais quando se compara o cenário de mudanças climáticas com o período atual. O aumento da temperatura foi nítido no norte do estado, bem como no extremo oeste do Triângulo Mineiro, no leste de Minas Gerais, no entorno de Ipatinga, Governador Valadares e Teófilo Otoni, que ainda se mantiveram com temperaturas mais amenas, apesar do aumento, quando comparado ao cenário atual, conforme Figura 7.

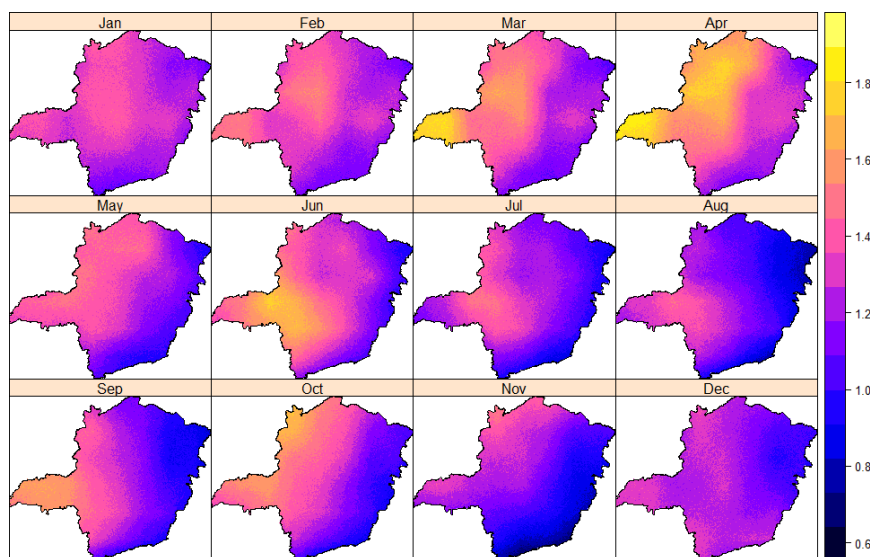
Figura 7 – Mapeamento da variação espacial da temperatura média anual do ar do clima mundial (graus Celsius) em Minas Gerais, Brasil, de 1970 a 2000 e 2021 a 2100.



Fonte: Os autores (2022)

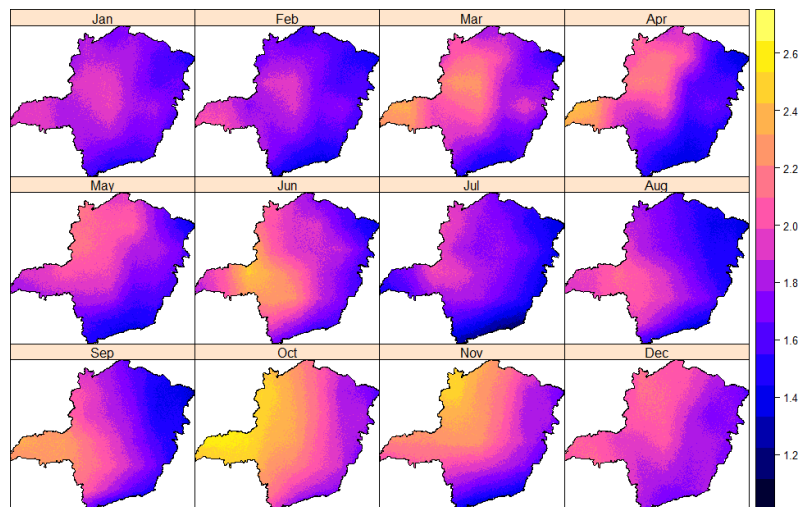
Com base nas diferenças de temperatura entre o cenário futuro e o período atual, os extremos de temperatura apresentaram um padrão espaço-temporal com efeito continental, apresentando aumento da temperatura na direção noroeste-sudeste, principalmente nos meses de março, abril, junho, outubro e novembro. Anomalias de temperatura maiores ocorreram, em geral, principalmente na região noroeste e Triângulo Mineiro (Figuras. 8, 9, 10 e 11).

Figura 8 – Diferença média mensal da temperatura do ar (graus Celsius) entre os períodos 2021-2040 e 1970-2000 em Minas Gerais, Brasil.



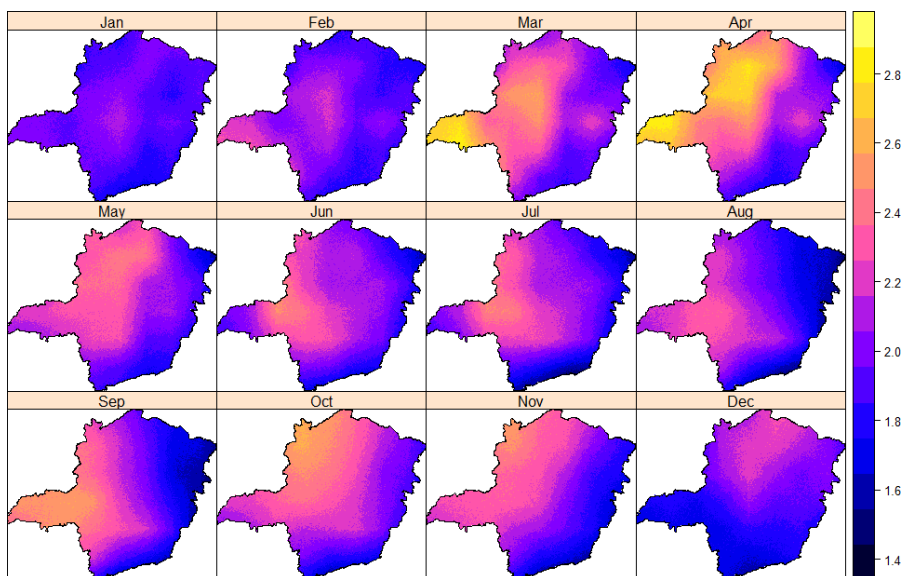
Fonte: Os autores (2022)

Figura 9 – Diferença média mensal da temperatura do ar (graus Celsius) entre os períodos 2041-2060 e 1970-2000 em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Os autores (2022)

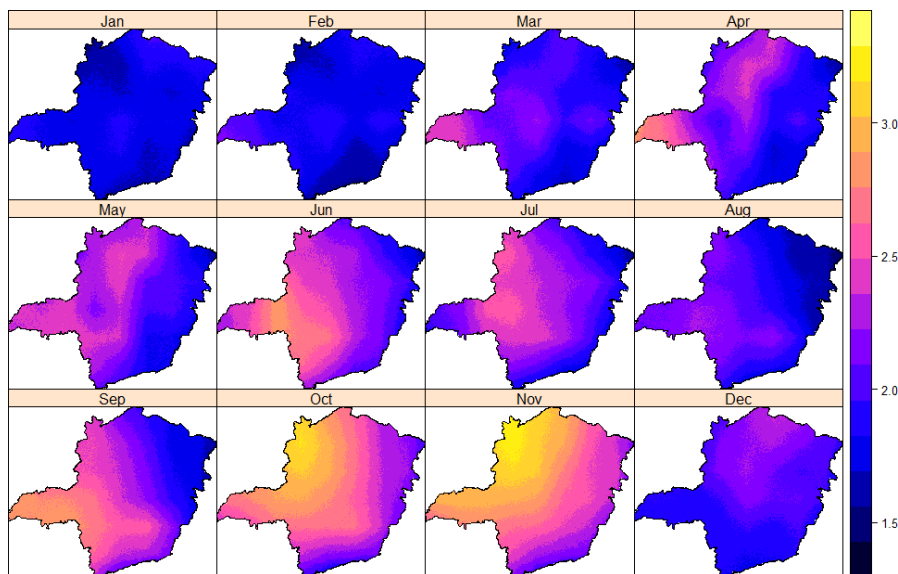
Figura 10 – Diferença média mensal da temperatura do ar (graus Celsius) entre os períodos 2061-2080 e 1970-2000 em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Os autores (2022)



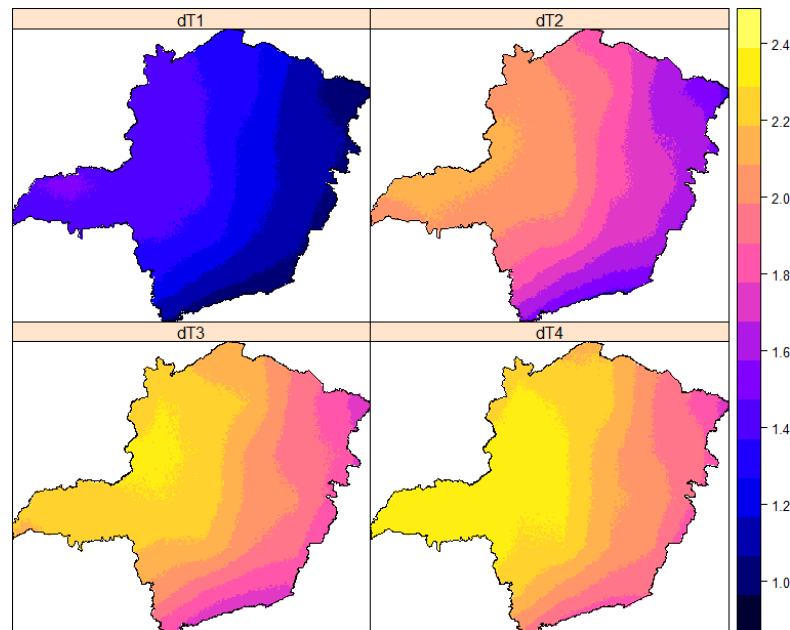
Figura 11 – Diferença média mensal da temperatura do ar (graus Celsius) entre os períodos 2081-2100 e 1970-2000 em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Os autores (2022)

Observando as diferenças na temperatura média anual do ar no cenário de mudanças climáticas em relação ao período atual, ficou claro identificar o gradiente noroeste-sudeste de aumento de temperatura no estado de Minas Gerais, mesmo apresentando grandes áreas na parte oeste do Estado de Minas Gerais, estado com até 2,4 graus de aumento de anomalia de temperatura, de acordo com a Figura 12.

Figura 12 – Diferença média anual da temperatura do ar (graus Celsius) entre 2021-2040 e 1970-2000 (dT1), 2041-2060 e 1970-2000 (dT2), 2061-2080 e 1970-2000 (dT3) e 2081- 2100 e 1970-2000 (dT4) em Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Os autores (2022)

#### 4 Discussão

A variação espacial da temperatura média anual do ar (1970-2000), obtidos pelo produto *World Clim* foi semelhante à variação da temperatura do ar obtida por modelagem geoestatística na região obtida por Carvalho (et al., 2010). Pequenas diferenças na magnitude das classes podem ter ocorrido devido os diferentes métodos utilizados na predição espacial da variável, bem como a referência temporal no período de 1961-1990 (Carvalho et al., 2010). Embora o padrão espacial da temperatura seja semelhante em ambos os trabalhos, observa-se que o valor máximo da temperatura média anual do ar foi 28°C graus, comparado aos 25,7°C previstos por Carvalho et al. (2010).

Com base nas diferenças de temperatura entre o cenário futuro e o período atual, os extremos de temperatura apresentaram um padrão espaço-temporal com efeito continental, com aumento da temperatura na direção noroeste-sudeste, principalmente nos meses de março, abril, junho, outubro, e novembro, atingindo as principais regiões cafeeiras em gradiente de maior intensidade no sentido noroeste-sudeste do estado.

Efeitos intercontinentais interferem também na umidade e consequentemente na temperatura do ar, podendo citar os efeitos da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na região associados aos padrões de precipitação e seca no sul do Brasil. A ZCAS, um importante complexo convectivo de verão que se estende para sudeste a partir do centro primário de convecção tropical sobre a Amazônia, apresentou variabilidade interanual e interdecadal. Convecção aprimorada sobre a Amazônia, leva a uma estrutura dipolarem movimento vertical com centros alongados alinhados de noroeste a sudeste do Brasil.

A ZCIT juntamente com o aquecimento diferencial entre o oceano e a terra na estação das monções foi responsável pelo transporte de grandes quantidades de umidade de baixo nível do Oceano Atlântico tropical para o continente (Alves et al., 2020). A variabilidade de precipitação em escala orbital entre o oeste e o leste da Amazônia exhibe um padrão quasi-dipolo em uma variabilidade de precipitação coerente em escala milenar na América do Sul tropical-subtropical (Cheng et al., 2013). A ZCIT não é um fenômeno recente na região, estando relacionada ao Hemisfério Sul tropical e subtropical mais seco no período quente do Plioceno médio (Pontes et al., 2020) e na segunda metade do Holoceno médio afetando práticas culturais em torno do manejo de plantas neotropicais e cultivo precoce (Riris e Arroyo-Kalin, 2019).

A formação desse dipolo é indispensável para que ocorra precipitação em Minas Gerais, principalmente nos meses mais quentes, como janeiro. Quando o dipolo não se forma, as chuvas ocorrem de forma esparsa na região e os veranicos podem determinar períodos de estiagem e estresse hídrico nas lavouras de acordo com a intensidade da temperatura e a duração prolongada da estiagem. O El Niño-Oscilação Sul (ENSO), evento climático que ocorre no Oceano Pacífico influenciando na circulação atmosférica e distribuição de chuva em regiões tropicais, modificando um conjunto único de processos meteorológicos relacionados à convecção induzida pelo aquecimento costeiro, à circulação de Walker (Rossby-wave-train) com anomalias de circulação atmosférica (Cai et al., 2020).

Constatou-se que uma enorme quantidade de dados foi utilizada apenas na análise dos modelos desenvolvidos na área de pesquisa sobre mudanças climáticas. Melhorias adicionais devem ser feitas para definir modelos mais precisos para fazer projeções climáticas futuras, considerando a duração da série temporal disponível que já

ocorreu com validação baseada em coleta de dados em períodos mais recentes, mas considerado como referência para avaliação de cenários futuros e calibração de os modelos, mesmo em um curto espaço de tempo, como entre 2000 e 2020. Além disso, a redução do big data em favor da seleção do melhor modelo e cenário socioeconômico para o progresso humano só pode ser alcançada por meio de medições de variáveis meteorológicas.

Com uma modelagem climática bem ajustada no sentido de entender os reais mecanismos que determinaram as mudanças climáticas, podemos começar a estabelecer medidas mitigadoras para essas mudanças. No entanto, sempre haverá o desafio de avaliar se as medidas de mitigação adotadas e implementadas nos níveis regional e global determinaram resultados satisfatórios, uma vez que os mecanismos que regem o tempo e o clima estão interconectados dinamicamente nas escalas micro e macro. Rodrigues et al. (2019) avaliando a causa comum de secas severas na América do Sul e ondas de calor marinhas no Atlântico Sul, identificou aumento na frequência, duração, intensidade e extensão de eventos de ondas de calor marinhas no período satélite 1982–2016, demonstrando que é possível obter série histórica de medições de satélite para entender o mecanismo das variáveis climáticas e sua dinâmica global relacionada à seca na América do Sul.

## **5 Conclusão**

Conclui-se que os resultados foram alcançados por intermédio do estudo realizado, visto que esta pesquisa não elucidou apenas a possibilidade de utilizar a ciência de dados para implementar os resultados dos respectivos modelos de mudanças climáticas em face dos problemas cotidianos que envolvem a temperatura do ar, mas também validou a metodologia acerca das avaliações climáticas mensais e anuais no que tange a variação do tempo bem como as mudanças regionais atreladas a temperatura.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que os padrões de variações significativos acerca da temperatura (mais quente) entre os meses de setembro e abril, se alteraram devido às temperaturas mais baixas entre maio e agosto no estado de Minas Gerais.

Houve um gradiente de temperatura de sul para norte com alterações características no centro, de modo a apresentar as regiões sob influência do relevo regional, bem como das temperaturas mais frias nas regiões montanhosas e elevadas.

Houve um aumento na temperatura do ar progressivamente em Minas Gerais, sobretudo devido à mudança dos cenários relacionadas às alterações climáticas pertinentes ao local específico analisado. Logo, os extremos da temperatura apresentaram padrões espaço-temporal junto ao efeito continental devido ao aumento da temperatura no sentido noroeste-sudeste, de modo que apresentou grandes áreas no oeste do estado com até 2,4 °C de anomalia climática relacionada à temperatura do ar.

## Referências

Alves, M. F. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 391-398, 2020.

AR6 – Sixth Assessment Report. Disponível em: <http://resp.llas.ac.cn/C666/handle/2XK7JSWQ/270167>. Acesso em: 14 fev. 2022.

Carvalho, J. W. et al. Evaluation of statistical and geostatistical models of digital soil properties mapping in tropical mountain regions. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, p. 706-717, 2010.

EUROPEAN COMMISSION. Disponível em: [https://ec.europa.eu/search/?QueryText=climate&op=Search&swlang=en&form\\_build\\_id=form-vK0HpzcU0ovcO6yH15qlzunwLLOMuydW-bX2X-yHGnc&form\\_id=nexteuropa\\_europa\\_search\\_search\\_form](https://ec.europa.eu/search/?QueryText=climate&op=Search&swlang=en&form_build_id=form-vK0HpzcU0ovcO6yH15qlzunwLLOMuydW-bX2X-yHGnc&form_id=nexteuropa_europa_search_search_form). Acesso em: 18 mar. 2022.

Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., Taylor, K.E., 2016. **Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization**. *Geoscientific Model Development* 9, 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>

Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G. A.; Stevens, B.; Stouffer, R. J.; Taylor, K. E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, **Geosci. Model Dev.**, 9, 1937-1958, doi:10.5194/gmd-9-1937-2016, 2016.

Eyring, V., Gleckler, P.J., Heinze, C., Stouffer, R.J., Taylor, K.E., Balaji, V., Guilyardi, E., Joussaume, S., Kindermann, S., Lawrence, B.N., Meehl, G.A., Righi, M., Williams, D.N., 2016. **Towards improved and more routine Earth system model evaluation in CMIP**. *Earth System Dynamics*.

Fricko, O., Havlik, P., Rogelj, J., Klimont, Z., Gusti, M., Johnson, N., Kolp, P., Strubegger, M., Valin, H., Amann, M., Ermolieva, T., Forsell, N., Herrero, M., Heyes, C., Kindermann, G., Krey, V., McCollum, D.L., Obersteiner, M., Pachauri, S., Rao, S., Schmid, E., Schoepp, W., Riahi, K., 2017. **The marker quantification of the Shared Socioeconomic Pathway 2: A middle-of-the-road scenario for the 21st century.** *Global Environmental Change* 42, 251–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.06.004>.

Fujimori, T. H.; Toshihiko Masui, Kiyoshi Takahashi, Diego Silva Herran, Hancheng Dai, Yasuaki Hijioaka, M. Kainuma. **AIM implementation of shared socioeconomic pathways.** *Global Environ. Change*, 2017.

Galvncio, J. D. **Balanço hídrico a superfície do Açude Epitácio Pessoa, utilizando modelos digitais de elevao,** Tese (Doutorado em Recursos Naturais)– Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

Gonçalves, N. M. S. Impactos pluvis e desorganizao do espaço urbano em Salvador. Monteiro, Carlos, A. de F.; Mendonça, Francisco (Org.). **Clima Urbano.** São Paulo: Contexto, 192, p. 69-91, 2013.

H.S. de, Bouwman, L.F., Daioglou, V., Edelenbosch, O.Y., Girod, B., Kram, T., Lassaletta, L., Lucas, P.L., Meijl, H. van, Mller, C., Ruijven, B.J. van, Sluis, S. van der, Tabeau, A., 2017. **Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm.** *Global Environmental Change* 42, 237–250. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008>.

Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J., Lister, D.H., 2014. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRUTS3.10 Dataset. **International Journal of Climatology** 34, 623–642.

Harris, W. S. Warming will affect phytoplankton differently: evidence through a mechanistic approach. **Proc. R. Soc. B.**, v. 278, p. 3534-3543, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/mg.html>. Acesso em: 03 mar. 2022.

IPCC – Intergovernmental Panel of Climate Change. Disponível em: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SPM\\_final.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf). Acesso em: 29 jan. 2022.

Kriegler, E., Bauer, N., Popp, A., Humpenoder, F., Leimbach, M., Strefler, J., Baumstark, L., Bodirsky, B.L., Hilaire, J., Klein, D., Mouratiadou, I., Weindl, I., Bertram, C., Dietrich, J.-P., Luderer, G., Pehl, M., Pietzcker, R., Piontek, F., Lotze-Campen, H., Biewald, A., Bonsch, M., Giannousakis, A., Kreidenweis, U., Müller, C., Rolinski, S., Schultes, A., Schwanitz, J., Stevanovic, M., Calvin, K., Emmerling, J., Fujimori, S., Edenhofer, O., 2017. **Fossil-fueled development (SSP5): An energy and resource intensive scenario for the 21st century.** *Global Environmental Change* 42, 297–315. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.015>.

Matias, A. Minas Gerais. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/minas-gerais.htm>. Acesso em: 02 maio. 202.

O'Neill, B.C., Kriegler, E., Riahi, K., Ebi, K.L., Hallegatte, S., Carter, T.R., Mathur, R., Vuuren, D.P. van, 2014. **A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socioeconomic pathways.** *Climatic Change* 122, 387–400. <https://doi.org/10.1007/s10584-013-0905-2>.

Pontes, M. S. A. Um Sistema de Suporte à Decisão para o Monitoramento de Secas Meteorológicas em Regiões Semi-Áridas. **Revista Tecnologia, Suplem.**, p. 84-95, 2020.

Riris, G. W.; Arroyo-Kalin, S, W. N. Climate analysis of the rainfall in the lower-middle stretch of the São Francisco river basin based on the rain anomaly index. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 2, p. 188-202, 2019.

Rodrigues, S. R. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2019.

Sá Júnior, A., Carvalho, L.G., Silva, F.F., Alves, M.C., 2012. Application of the Köppen classification for climatic zoning in the state of Minas Gerais, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology Journal of Advances in Modeling Earth Systems** 11, 4182–4227. <https://doi.org/10.1029/2019MS001791>.

Vuuren, V. et al. **Energy, land-use and greenhouse gas emissions trajectories under a green growth paradigm.** 10.1016/j.gloenvcha.2016.05.008, 2017.

Yang, S., Gao, Y., Torben, K., Keenlyside, N., Counillon, F., 2021. **The climate model: An ARCPATH tool to understand and predict climate change**, in: pp. 157–180. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52324-4\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52324-4_8).