

**Kaio Expedito Rodrigues**

**Queiroz<sup>1</sup>**

ORCID: [0000-0002-6383-1093](https://orcid.org/0000-0002-6383-1093)

**Mateus Pereira Lavorato<sup>2</sup>**

ORCID: [0000-0002-4425-3718](https://orcid.org/0000-0002-4425-3718)

**Marcelo José Braga<sup>3</sup>**

ORCID: [0000-0002-8161-405X](https://orcid.org/0000-0002-8161-405X)

<sup>1</sup> Mestre em Economia Aplicada  
pela Universidade Federal de Viçosa  
(UFV)  
Doutorando em Economia Aplicada  
(UFV)  
[kaio.queiroz@ufv.br](mailto:kaio.queiroz@ufv.br)

<sup>2</sup> Doutor em Economia Aplicada  
(UFV)  
Professor  
Universidade Federal de Ouro Preto  
(UFOP)  
[mateus.lavorato@ufop.edu.br](mailto:mateus.lavorato@ufop.edu.br)

<sup>3</sup> Doutor em Economia Rural  
(UFV)  
Professor  
(UFV)  
[mjbraga@ufv.br](mailto:mjbraga@ufv.br)

## EFETOS DA ARIDIFICAÇÃO DO CLIMA SOBRE A PRODUTIVIDADE AGRÍCOLA NO SEMIÁRIDO DE MINAS GERAIS

### RESUMO

A região semiárida de Minas Gerais é composta majoritariamente por pequenas propriedades e produtores rurais com baixo nível de capitalização. Esses produtores são mais vulneráveis a longos períodos de estiagem e elevadas temperaturas. Este estudo tem como objetivo analisar os efeitos da aridificação do clima sobre a produtividade agrícola. Para tanto, fez uso do índice de aridez De Martonne e do modelo de regressão em painel com ponderações geográficas (GWPR). As culturas selecionadas para análise foram: banana, cana-de-açúcar e mandioca, e as variáveis climáticas foram a precipitação e a temperatura. O período de análise compreendeu de 2001 a 2019. Os resultados mostraram que a aridificação do clima no semiárido mineiro, no período analisado, impactou negativamente a produtividade das três culturas. Entre elas, a banana foi a cultura menos afetada quando comparado com outros dois cultivos, sendo as cidades mais afetadas localizadas no leste da região. Em contraste, a produção de cana-de-açúcar e mandioca apresentaram maiores quedas, particularmente nos municípios situados na parte oeste do semiárido.

**Palavras-chave:** Semiárido; Minas Gerais; Mudanças climáticas; Produtividade.

### ABSTRACT

The semi-arid region of Minas Gerais is predominantly composed of small-scale farms operated by rural producers with low capitalization levels. These producers are highly vulnerable to prolonged droughts and high temperatures. This study aims to analyze the effects of climate aridification on crop yields. To achieve this, the De Martonne aridity index and Geographically Weighted Panel Regression (GWPR) were applied. The selected crops for analysis were banana, sugarcane, and cassava, while the climatic variables considered were precipitation and temperature. The study covers the period from 2001 to 2019. The results indicate that climate aridification in the semi-arid region of Minas Gerais between 2001 and 2019 negatively impacted the yields of all three crops. Among them, banana was the least affected, with the most vulnerable cities located in the eastern part of the region. In contrast, sugarcane and cassava production experienced greater declines, particularly in municipalities situated in the western part of the region.

**Keywords:** Semi-arid; Minas Gerais; Climate Changes; Crop yield..

**Código JEL:** Q54

## INTRODUÇÃO

Mudanças climáticas referem-se a alterações persistentes nos padrões climáticos globais, sendo causadas por fatores naturais (como variações no ciclo solar, atividade vulcânica, entre outros) e por atividades humanas (ações antropogênicas). O fenômeno gera o incremento da temperatura, alterações na precipitação, acidificação, decréscimo no nível de oxigênio, elevação do nível do mar, maior ocorrência de eventos extremos, dentre outros (IPCC, 2021).

Na agricultura, as mudanças climáticas afetam a quantidade ofertada, segurança dos alimentos e volatilidade dos preços. Além de intensificar a vulnerabilidade dos agricultores de subsistência e aumentar a competição pelo uso da terra (Chen, 2021; Kerr *et al.*, 2022).

As áreas desérticas e semiáridas ocupam, aproximadamente, 47% das terras globais e abrigam cerca de 3 bilhões de pessoas, havendo uma perspectiva de expansão dessas áreas nas regiões do Mediterrâneo, sul da África e nas Américas do Norte e do Sul. Sabe-se que essas áreas possuem maior sensibilidade as mudanças climáticas, haja visto que entre 1920 e 2015 a temperatura elevou-se entre 1,2-1,3 °C, enquanto nas regiões úmidas o crescimento foi de 0,8-1,0 °C (Mirzabaev *et al.*, 2022).

Este crescimento terá um impacto negativo sobre a biodiversidade e os ecossistemas, aumento da insegurança alimentar, redução na quantidade e na qualidade da água potável prejudicando, assim, a saúde e o bem-estar humano, além disso, as mudanças climáticas podem catalisar o fluxo migratório e pressionar as áreas urbanas.

A região semiárida brasileira é caracterizada pelo baixo índice pluviométrico, baixa umidade relativa do ar, chuvas concentradas em determinadas épocas e longo período de estiagem (Lemos, 2020). Ademais, a distribuição e a sazonalidade das chuvas não são uniformes. Na região norte, estação chuvosa se concentra entre fevereiro e maio. No centro-sul e no oeste, o período chuvoso é de dezembro a fevereiro. Por fim, no leste, as chuvas ocorrem entre maio e agosto (Marengo *et al.*, 2019).

De acordo com o Censo Agropecuário de 2017, o semiárido detém 35% das 5,07 milhões de propriedades rurais no Brasil, ou seja, 1,8 milhões de empreendimentos. Em 2017, o valor bruto da produção agropecuária na sub-região totalizou R\$ 29,60 milhões (de R\$ 462,4 bilhões), sendo empregado 4,85 milhões de pessoas no meio rural (perante 15,12 milhões) (IBGE, 2017).

Dos 1,8 milhões de empreendimentos, 1,4 milhões se enquadram nos critérios da agricultura familiar, sendo que 99,92% acessaram o crédito via o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), porém apenas 8,2% das propriedades pronafianas recebem assistência técnica (IBGE, 2017).

O semiárido brasileiro foi citado no artigo 159, inciso I, alínea “c”, da Constituição Federal do Brasil, no qual é determinado que o Estado deve direcionar 3% da metade das receitas com impostos sobre renda, proventos e produtos as regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Do valor destinado a esta última região, metade deve atender ao semiárido (Brasil, 1988).

A lei federal número 7.827 regulamentou o artigo 159, colocando a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (Sudene) como responsável por delimitar a região semiárida, através do seu Conselho Deliberativo (Condel) e a mesma lei instituiu os Fundos Constitucionais de Financiamento para o Centro-Oeste (FCO), Norte (FNO) e Nordeste (FNE) (Brasil, 1989).

No ano de 1995, a Sudene delimitou o semiárido utilizando como critério o nível de precipitação. Ao todo 1.031 cidades distribuídas ao longo de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas

Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe, apresentaram um nível pluviométrico inferior a 800 milímetros (mm) por ano (Brasil, 2005a).

Com a extinção da Sudene no início dos anos 2000<sup>1</sup> coube ao Ministério da Integração Nacional estabelecer critérios para redelimitar a sub-região. Para tanto, foi formado o Grupo de Trabalho Interministerial no ano de 2005 (GTI-2005) que apresentou três critérios, a saber: isoietia inferior a 800 mm ao ano, déficit hídrico diário igual, ou maior, a 60% e índice de aridez de Thorntwaite inferior a 0,5 entre 1961 e 1990. Para pertencer a sub-região a cidade tinha que atender, pelo menos, um dos três critérios. Os 1.031 municípios da delimitação anterior foram mantidos, sendo acrescentado outros 102 totalizando, assim, 1.133 cidades (Brasil, 2005b).

Em 2017, foi instituído um novo Grupo de Trabalho Interministerial (GTI-2017), que conteve a participação da Sudene, sendo essa recriada em 2007<sup>2</sup>. O GTI-2017 recomendou a manutenção dos três critérios indicados pelo GTI-2005 e uma nova atualização no ano de 2021. O Condel/Sudene aprovou o ingresso de 129 cidades, sendo duas delas situadas no Maranhão. Por consequência, o semiárido em 2017 foi composto por 1.262 municípios distribuídos ao longo dos nove estados do nordeste e em Minas Gerais (Sudene, 2021a).

A portaria número 80, publicada em 27 de julho de 2021, instituiu uma equipe multidisciplinar para verificar abrangência do semiárido. Os resultados apresentados ao Condel/Sudene apontaram para a manutenção dos critérios usados em 2005 e 2017, sendo sugerido o acréscimo de 215 municípios e exclusão de 50 da delimitação anterior resultando, assim, em 1.427 cidades. Dos novos municípios, seis estão inseridas no estado do Espírito Santo (Sudene, 2021a).

Em 2024, o Condel/Sudene revogou a exclusão dos 50 municípios no período de um ano, devido aos possíveis efeitos do *El Niño* nesses municípios. Logo, o semiárido passou a ser composto por 1.477 cidades, abrangendo todos estados da região Nordeste e mais dois da região Sudeste (Minas Gerais e Espírito Santo) (Brasil, 2024; Sudene, 2021).

Na delimitação de 1995, Minas Gerais possuía 40 municípios na região semiárida. Em 2005, o passou para 85, no ano de 2017 elevou-se para 91, a proposta redigida em 2021 indicou 209 municípios, em 2024 houve aumento de mais 8 municípios, resultando em um total de 217. Portanto, desde a primeira delimitação (1995), a quantidade de cidades que enfrentam limitações climáticas cresceu 442,5% (Brasil, 2005a, 2005b; SUDENE 2021a).

Na delimitação 2021, revisada em 2024, os 217 municípios situados no semiárido de Minas Gerais ocupam 223,41 mil km<sup>2</sup>, isto é, 38,1% da área do estado (Figura 1). De acordo com o Censo Demográfico 2022, 3,34 milhões de pessoas residem na região (16,2% da população estadual). Entre 2010 e 2022, o total de habitantes reduziu, aproximadamente, 1,3% (IBGE, 2021a, 2023; Brasil, 2024; Sudene, 2021).

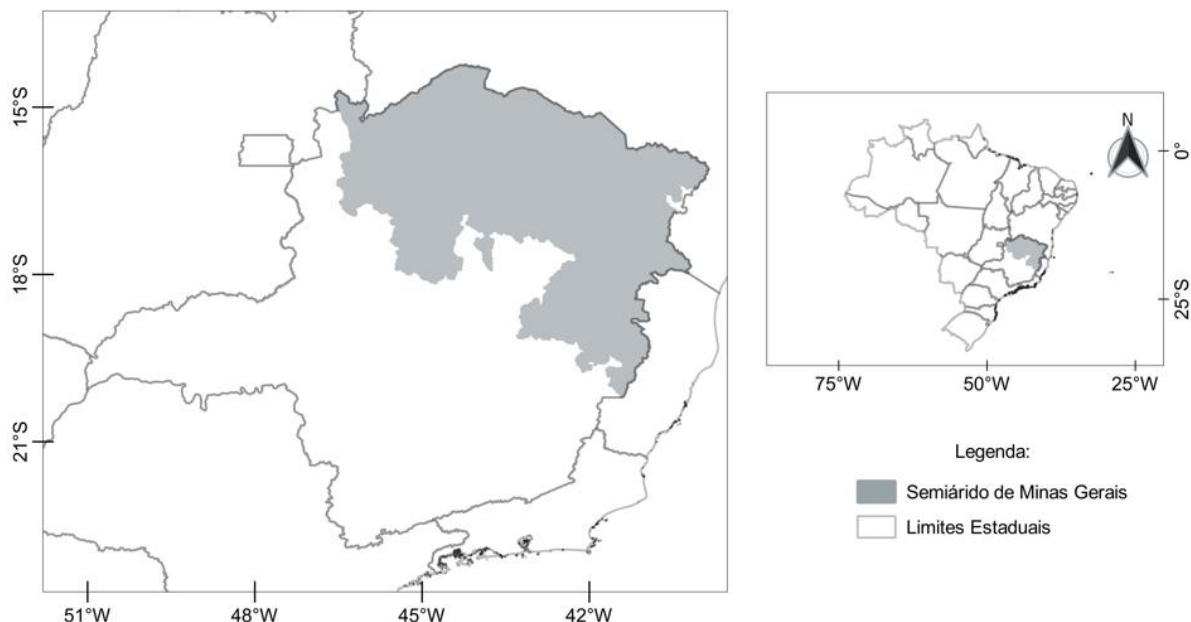
Com relação ao produto interno bruto (PIB), observa-se uma participação significativa dos setores agrícola e público na composição do PIB do semiárido mineiro. A participação média do valor bruto adicionado pelas atividades agropecuárias, na década de 2012-2021, foi de 9,1% nesta região. Por outro lado, a representatividade do mesmo setor no PIB de Minas Gerais e do Brasil foram, na mesma ordem, 5,3% e 4,7%. No mesmo período, a participação média do setor público no PIB do semiárido mineiro foi igual 28,4%. Contudo, a representatividade deste último no PIB tanto de Minas Gerais como do Brasil não alcança os 14,5% (IBGE, 2022).

---

<sup>1</sup>Para mais detalhes acessar a Medida Provisória nº 2.156-5, de 24 de agosto de 2001, no endereço eletrônico [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/mpv/2156-5.htm#:~:text=MEDIDA](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/mpv/2156-5.htm#:~:text=MEDIDA)

<sup>2</sup>Para mais detalhes acessar a Lei Complementar nº 125, de 3 de janeiro de 2007, no endereço eletrônico: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/LEIS/LCP/Lcp125.htm#art24](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/LCP/Lcp125.htm#art24).

Figura 1: Localização do semiárido mineiro de 2021



Fonte: Elaborado pelos autores com base nos dados do IBGE (2021a) e Sudene (2021a).

Salienta-se ainda que os índices de desenvolvimento humano municipal (IDHM) e o de vulnerabilidade social (IVS<sup>3</sup>) retratam que o semiárido mineiro apresenta diversos desafios socioeconômicos. O IVS na região é de 0,414, enquanto no Brasil e em Minas Gerais o mesmo índice é igual a 0,326 e 0,282, respectivamente. Com relação ao IDHM, a região apresenta o nível de 0,624, ao mesmo tempo, o Brasil e Minas Gerais exibem 0,727 e 0,731, respectivamente. Os desafios agravam-se ainda mais, pelo fato do semiárido brasileiro ser um dos mais povoados do mundo (IPEA, 2010; Lemos, 2020). A grande população do Semiárido Brasileiro, incluindo a parte mineira, intensifica os desafios relacionados à escassez de água, segurança alimentar e desenvolvimento sustentável.

O semiárido mineiro é heterogêneo e abriga distintas macrorregiões hídricas, a saber: o São Francisco e o Atlântico Leste (delimitações de 1995, 2005 e 2017). Em 2021, a região passou a ocupar, além das duas últimas, a macrorregião Atlântico Sudeste. Ademais, o semiárido de Minas Gerais ocupa três biomas: Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (IBGE, 2019, 2021b; Brasil, 2005a, 2005b; SUDENE, 2021a).

Segundo o Censo Agropecuário de 2017, cerca de 106.392 propriedades rurais situam-se no semiárido mineiro, 62,5% possuem uma área menor que 20 hectares e 77% se enquadram nos critérios da agricultura familiar. Deste último, 99,9% acessam o Programa Nacional da Agricultura Familiar (Pronaf), porém, apenas, 12% dos estabelecimentos contemplados por essa linha de crédito receberam algum tipo de orientação técnica (IBGE, 2017).

Com relação ao perfil dos produtores rurais, 79,5% das propriedades são geridas por homens e 20,5% por mulheres, 59% dos responsáveis pelos empreendimentos declaram-se pardos, 28%

<sup>3</sup>O IVS é um índice construído pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) no âmbito do Atlas do Desenvolvimento Humano, o valor corresponde à média aritmética dos subíndices: infraestrutura urbana, capital humano e renda e trabalho, para obter os subíndices são usados 16 indicadores de variáveis dos Censos Demográficos dos anos 2000 e 2010. O IVS pode ser compreendido como um complemento do IDHM, seus valores variam de 0 a 1, porém sua interpretação difere do IDHM, pois 0 representa a situação ideal e 1 a pior situação (IPEA, 2010).

brancos, 12% negros e 1% indígenas, por fim 30,4% dos agricultores declararam que não sabem ler e escrever (IBGE, 2017).

Diante deste exposto, o presente estudo analisa os efeitos da aridificação do clima sobre a produtividade da agropecuária no semiárido mineiro. Especificamente, pretendeu-se (i) Calcular o índice de aridez proposto por De Martonne (1926); (ii) Estabelecer uma relação econométrica entre a produtividade das culturas e o índice de aridez De Martonne (1926); (iii) Mensurar os impactos da aridificação do clima sobre a produtividade agrícola das culturas de banana, cana-de-açúcar e mandioca. As duas hipóteses tomadas foram: i) A aridificação do clima está comprometendo a produtividade agrícola das citadas culturas no semiárido mineiro; ii) As produtividades das culturas permanentes apresentam menores variações do que as produtividades das culturas temporárias com a aridificação do clima.

Esta pesquisa oferece informações valiosas para diversos setores da economia, mercados e governo, com potencial para gerar impactos positivos e duradouros. Por meio desta, será possível aumentar o campo de compreensão de como as variáveis climáticas afetam a produtividade das culturas de banana, cana-de-açúcar e mandioca. A importância do estudo está em compreender como as variáveis climáticas estão afetando a agricultura, possibilitando a formulação e a implementação de políticas públicas para uma região que convive com gargalos socioeconômicos.

Além desta introdução, o artigo está organizado em mais quatro seções. A próxima apresenta a revisão de literatura. A terceira discute a abordagem metodológica empregada. Na quarta são apresentados e discutidos os resultados. Finalmente, na quinta, as conclusões.

## REVISÃO DE LITERATURA

Lickley e Solomon (2018) observaram que o nível de aridez cresceu em 10%, ou mais, nas regiões do norte e sul da África, partes da América (principalmente a Latina), sul da Europa e na Austrália no período de 2001 a 2020, quando comparado com os anos de 1976 a 2000. Ademais, verificou que 50% das zonas áridas se tornarão mais áridas em 5% em 2075, com acréscimo de 200 milhões de habitantes em regiões áridas e hiper áridas para o final do século XXI.

Por meio do modelo *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5*, tomando como base o período de 1961 a 1990, Marengo, Torres e Alves (2017) projetaram a temperatura e a precipitação no semiárido brasileiro no final do século XXI. Para a temperatura, foi identificado que o incremento de 0,4 a 1,9 °C no cenário otimista e de 2,7 a 6,2 °C no cenário pessimista. Já o nível de precipitação pode variar de +1,5 a -1,5 milímetros por dia, porém esses resultados são mais complexos, uma vez que os modelos não consideram fatores regionais, como, por exemplo, o fenômeno do *El Niño* e o fato da região está associada à zona de convergência intertropical, esses dois fatores já condicionaram longos períodos de estiagem no semiárido brasileiro.

Marengo e Bernasconi (2015) avaliaram as condições atuais e futura das condições de aridez, focando as análises no nível de precipitação, temperatura, balanço hídrico e aridez na Região Nordeste do Brasil. Comparado com o período 1961 a 1990, as projeções indicam um aumento na temperatura na região de 2°C entre 2010-2040, de 2 a 4°C entre 2041-2070 e acima de 4°C entre 2071-2100. Além disso, é esperado uma redução no nível de chuvas, sendo mais expressiva no leste do semiárido. A combinação desses fatores, pode gerar um déficit hídrico, com uma redução de 3 a 4 milímetros por dia.

Carlos, Cunha e Pires (2019) investigaram na bacia hidrográfica do Rio das Contas, situada no estado da Bahia, a percepção dos agricultores em relação as mudanças climáticas, bem como as estratégias de adaptação. Aproximadamente 69% dos produtores ouviram falar mudanças climáticas, porém apenas 52% dos entrevistados adaptaram ou alteraram seu manejo em decorrências das mudanças climáticas.

Em Santos, Oliveira e Ferreira Filho (2022), foram analisados os potenciais impactos socioeconômicos gerados pelas mudanças climáticas projetadas para 2040 sobre a agricultura e a economia como um todo nas diferentes regiões do Brasil. Os autores encontraram que as áreas agricultáveis serão prejudicadas com os choques climáticos tanto no cenário intermediário como no pessimista, sendo mais severo no Nordeste e Sudeste do Brasil. Os efeitos climáticos também foram negativos para o PIB, nível de emprego e consumo das famílias.

Ortiz-Bohea *et al.* (2021) avaliaram, com modelos econométricos, os impactos das variações climáticas sobre a produtividade total dos fatores (PTF) da agricultura. Entre os resultados encontrados está a redução do valor global da PTF em 20,8%, com intervalo de confiança variando de -39,1 a 10,1% dado o nível de 90%. As regiões de baixa latitude apresentaram maiores vulnerabilidades, especificamente na África a variação foi de -34%, na América Latina -25,9%, por outro lado as regiões mais frias como América do Norte, Europa e Ásia Central os valores foram 12,5, 7,1 e 7,1%, respectivamente.

As análises dos impactos da variabilidade do clima sobre várias áreas da economia brasileira iniciaram na década de 1990, as principais linhas metodológicas empregadas foram o modelo econométrico e o modelo equilíbrio geral computável (CGE). O primeiro depende da disponibilidade de dados e adota que os eventos passados irão se repetir no futuro, enquanto o segundo baseia-se nos pressupostos da escola neoclássica para analisar como choques alteram o equilíbrio de mercado (Moraes; Ferreira Filho, 2013).

## METODOLOGIA

A análise deste estudo foi conduzida na delimitação do semiárido de Minas Gerais de 2017, 91 municípios estavam inseridos nesta região (Figura 2). A escolha desta delimitação em detrimento da delimitação de 2021, revisada em 2024, se deve pelo fato desta última não ser definitiva até a realização deste estudo.

As culturas agrícolas utilizadas neste trabalho foram a banana, cana-de-açúcar e mandioca. A escolha desses cultivos se deu pelo fato de serem mais bem distribuídos ao longo do semiárido mineiro de 2017. Os dados foram tomados na Pesquisa Agrícola Municipal, PAM, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sendo mensurados em quilogramas por hectare (kg/ha) (IBGE, 2021c).

As variáveis climáticas utilizadas foram precipitação, temperatura máxima e temperatura mínima, sendo consultadas nos dados de Xavier *et al.* (2022). Os autores constituíram uma grade de dados climáticos brasileiro com frequência diária, adotando uma resolução de 0,1° x 0,1° para o período de 01 de janeiro de 1961 a 31 de julho de 2020.

Destaca-se que a banana é classificada como lavoura permanente, já os cultivos de cana-de-açúcar e mandioca são lavouras temporárias, porém com o ciclo produtivo ultrapassando 12 meses. Logo, adotou para as três culturas dados climáticos registrados durante os anos de 2001 a 2019, a escolha destes 19 anos se deu por dois fatos. O primeiro está relacionado a uma

alteração na metodologia nos dados da PAM em 2000. O segundo diz respeito aos dados de Xavier *et al.* (2022), disponíveis até julho de 2020.

Os dados foram organizados em painel, com as cidades localizadas nas linhas e os anos nas colunas. Este método mescla as características das séries temporais com o método dos cortes transversais possibilitando identificar as heterogeneidades e as especificidades dos sujeitos envolvidos (Gujarati; Porter, 2011).

A quantificação da aridificação do clima ocorreu pelo índice de aridez proposto por De Martonne (1926). Caso esse indicador seja menor que 5, o clima é classificado como hiperárido. Se maior ou igual a 5 e menor que 10, trata-se de uma área árida. Sendo maior ou igual a 10 e menor que 20, classifica-se como semiárida. Se maior ou igual a 20 e menor que 24, tem-se mediterrânea. Se maior ou igual a 24 e menor que 28, é semiúmida. Regiões úmidas apresentam um nível maior ou igual a 28 e menor que 35. As muito úmidas detêm valor maior ou igual a 35 e menor que 55. Por fim, regiões extremamente úmidas apresentam um índice superior a 55 (De Martonne, 1926).

$$I_{it}^{DM} = \frac{pr_{it}}{\bar{T}_{it+10}} \quad (1)$$

em que:  $I_{ij}^{DM}$  = vetor do índice de aridez anual De Martonne (1926) para a cidade  $i$  no ano  $t$ ,  $pr$  = vetor com os dados de precipitação da cidade  $i$  no ano  $t$ ,  $\bar{T}_{it}$  = vetor com os valores da temperatura média para a cidade  $i$  no ano  $t$ , sendo  $i$  = cidades do semiárido mineiro = 1, 2, 3, ..., 91, e  $t$  = período analisado = 2001, 2002, 2003, ..., 2019.

Para relacionar o índice de aridez De Martonne e a produtividade agrícola, fez-se uso do modelo de regressão em painel com ponderações geográficas (GWPR). Esse modelo deriva do método regressão geograficamente ponderada (GWR). Sendo o modelo GWPR ajustado com Mínimo Quadrado Ponderado (WLS) (Fotheringham; Brunsdon; Charlton, 2002; Wheeler; Páez, 2010).

Cai, Yu e Oppenheimer (2014) foram pioneiros no emprego do método GWPR na análise dos efeitos das mudanças climáticas sobre a produtividade agrícola, quando avaliaram os impactos sobre a produtividade do milho cultivado nos Estados Unidos. A equação 2 transcreve a forma matricial do modelo GWPR:

$$PDTV_{cit} = K_{ci} + \beta_{cit} I_{ij}^{DM} + \varepsilon_{cit} \quad (2)$$

em que:  $PDTV_{cit}$  = vetor da produtividade (PDTV) do cultivo  $c$  para a cidade  $i$  no ano  $t$ ,  $K_{ci}$  = vetor com o fator fixo para o cultivo  $c$  da cidade  $i$ ,  $\beta_{cit}$  = vetor com o efeito da aridificação do clima sobre a produtividade da cultura  $c$  para a cidade  $i$  no período  $t$ ,  $I_{ij}^{DM}$  = vetor do índice de aridez anual De Martonne (1926) para a cidade  $i$  no ano  $t$ , e  $\varepsilon_{cit}$  = vetor com os termos de erro do cultivo  $c$  da cidade  $i$  no período  $t$ , sendo  $c$  = banana, ou cana-de-açúcar, ou mandioca,  $i$  = cidades do semiárido mineiro = 1, 2, 3, ..., 91, e  $t$  = período analisado = 2001, 2002, 2003, ..., 2019.

Optou-se pela presença de efeitos fixos, pois alguns fatores peculiares as cidades afetam a produtividade, por exemplo, a qualidade do solo e a altitude. Destaca-se que a distância da observação perante o ponto de regressão afeta sua influência sobre o parâmetro estimado, isto

é, quanto mais próxima a observação estiver do ponto de regressão maior será sua influência sobre o parâmetro do modelo. Logo, como as 91 cidades não possuem o mesmo perímetro, fez uso de largura de banda otimizada (Fotheringham; Brunston; Charlton, 2002; Lavorato, 2020).

A equação 3 descreve o peso atribuído para a distância entre duas cidades,  $p_{ij}$  enquanto a equação 4 aborda a minimização da largura de banda (LB), por meio da validação cruzada (VC):

$$p_{ij} = \left[ 1 - \left( \frac{d_{ij}}{d_{ik}} \right)^2 \right]^2 \text{ se } j \in Z_i(k) = 0 \quad (3)$$

em que:  $p_{ij}$  = peso atribuído para a distância da cidade  $i$  até a cidade  $j$ ;  $d_{ij}$  = distância entre a cidade  $i$  até a cidade  $j$ ,  $d_{ik}$  = distância entre a cidade  $i$  o  $k$ -enésimo vizinho;  $Z_i(k)$  = conjunto de  $k$  vizinhos da cidade  $i$ .

$$VC = \sum_{i=1}^n [y_i - \widehat{y}_{\neq i} LB]^2 \quad (4)$$

em que:  $VC$  = validação cruzada;  $y_i$  = valor observado para cidade  $i$ ;  $\widehat{y}_{\neq i}$  = valor estimado para cidade  $i$ , quando a cidade  $i$  é eliminada;  $LB$  = largura de banda.

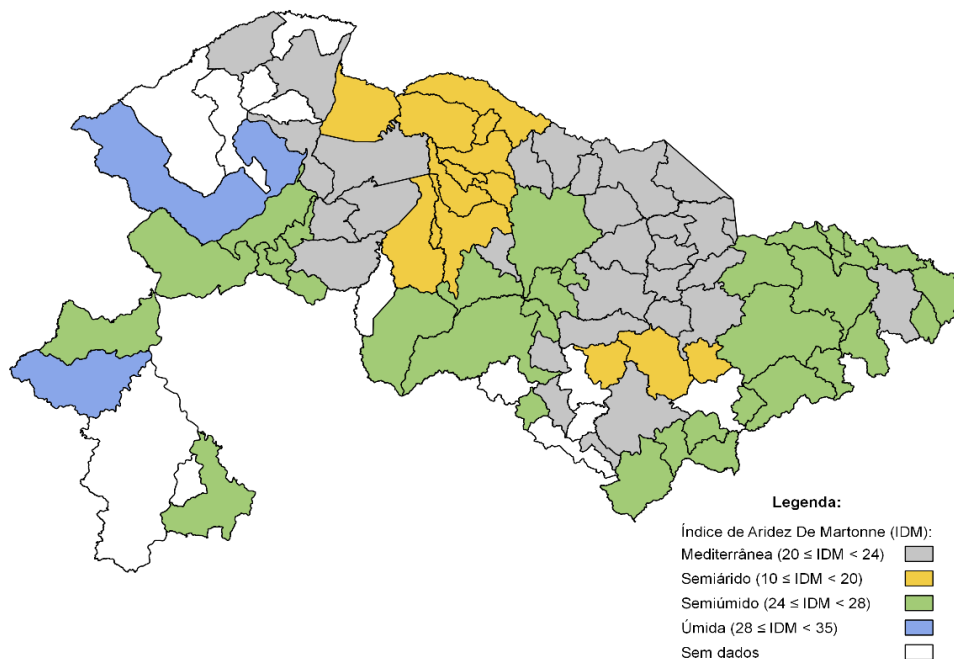
Os procedimentos descritos foram realizados com o auxílio do *software* R (R CORE TEAM, 2022), empregando-se alguns pacotes específicos para a regressão em painel com ponderações geográficas (*GWPR*) como o “*spgwr*” elaborado por Bivand e Yu (2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre 2001 e 2019, o índice de aridez De Martonne indicou que duas cidades possuem clima úmido, 32 municípios clima semiúmido, outros 30 municípios clima mediterrâneo, 14 cidades clima semiárido, as 13 restantes não possuíram dados suficientes para o cálculo (Figura 2).

O resultado acima difere da classificação oficial do país e dois fatores ajudam a explicar essa divergência. O primeiro refere-se ao índice de aridez ser um dos três critérios de delimitação, e para pertencer a sub-região é necessário atender a pelo menos um (mais detalhes na seção 1). O segundo deve-se aos métodos empregados, pois este estudo calculou o índice de De Martonne para o período de 2001 a 2019, já no cálculo oficial é mensurado o índice de Thorntwaite e para a delimitação de 2017 foi utilizado o período base de 1981 a 2010 (Sudene, 2021a).

Figura 2: Índice de Aridez De Martonne médio, período 2001-2019



Fonte: Resultados da pesquisa.

No âmbito das relações entre o índice de aridez de De Martonne e a produtividade da banana, cana-de-açúcar e mandioca, todas estimadas com o modelo de regressão em painel com ponderações geográficas, *GWPR*, observou-se diversos valores para as distintas culturas, como retrata a Tabela 1.

Tabela 1: Valores estimados da relação entre índice de aridez De Martonne e produtividade agrícola na região semiárida de Minas Gerais entre 2001-2019 (kg/ha)

Cultura	$\widehat{\beta}_{11}$				
	Mínimo	1º quartil (25%)	Média	3º quartil (75%)	Máximo
Banana	-0,1	18,7	30,0	41,2	62,9
Cana-de-açúcar	109,9	123,2	130,5	137,2	155,9
Mandioca	46,26	50,77	53,2	55,29	64,81

Fonte: Resultados da pesquisa

A banana foi cultivada de forma ininterrupta em 56 das 91 cidades ao longo dos 19 anos analisados, gerando um painel balanceado com 1.064 observações. O impacto da aridez sobre a produtividade desta cultura foi negativo. Pode-se interpretar que, para a queda de 1 nível no índice de aridez de De Martonne (ou seja, se o clima ficar mais árido), há uma perda de 30 quilogramas (kg) de banana no espaço de um hectare. Contudo, das 56 cidades analisadas ao longo de 2001-2019, apenas 11 possuíram impacto estatisticamente significativo (diferente de 0), adotando 5% como nível de significância ( $\alpha$ ).

O cultivo de banana é perene, por isso sua produção ocorre de forma permanente, logo as bananeiras demandam mais águas, além de suas longas folhas realizam maior transpiração que outros cultivos. Gondim *et al.* (2011) projetaram para o ano de 2040 a necessidade hídrica do cultivo de banana na região da Bacia do Jaguaribe (situada entre o sudoeste do estado do Ceará e noroeste de Pernambuco), considerando os cenários A2 e B2 do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC).

Segundo os autores, no ano de 2040 haverá uma maior necessidade hídrica em relação ao período de 1961-1990, especificamente o aumento será de 27,50% para o cenário A2 e 25,24% para o contexto B2. Esses eventos decorrem da redução da precipitação e elevação da temperatura prejudicando, assim, a evapotranspiração. A necessidade hídrica será maior à medida que se caminha no sentido Leste para Oeste (Gondim *et al.*, 2011).

Observa-se no Painel A da Figura 3, que a região leste do semiárido mineiro apresentou reduções significativas na produtividade da banana, essa área está sobreposta sobre a macrorregião hidrográfica Atlântico Leste e no bioma da Mata Atlântica.

A cana-de-açúcar foi produzida em 61 municípios ao longo do período averiguado, constituindo um painel balanceado com 1.292 observações. A aridificação do clima também reduz a produtividade da referida cultura. Em média, para cada redução de 1 nível no índice aridez há uma perda de 130,5 kg de cana-de-açúcar por hectare. Para todas as 61 cidades, o valor foi significativo estatisticamente ( $\alpha = 5\%$ ).

Os resultados encontrados para a cana-de-açúcar vão ao encontro do estudo de Araújo *et al.* (2014). Esses autores fizeram uso do modelo econométrico *Tobit* com dados em painel na estimação e encontram que a produtividade do referido gênero agrícola reduzirá na região Nordeste, havendo possibilidade de extinção deste cultivo em algumas regiões no ano de 2100 em um cenário mais pessimista.

Por outro lado, Marin e Nassif (2012) constataram que o aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pode vir a favorecer a fotossíntese da cana-de-açúcar em algumas regiões, mas, ao mesmo tempo, esse evento favorece o desenvolvimento de plantas daninhas, aumento de insetos e fungos, sendo necessário alterações no manejo nos canaviais. Ademais, caso o estresse térmico ocorrer durante a maturação pode haver uma redução na produção de biomassa.

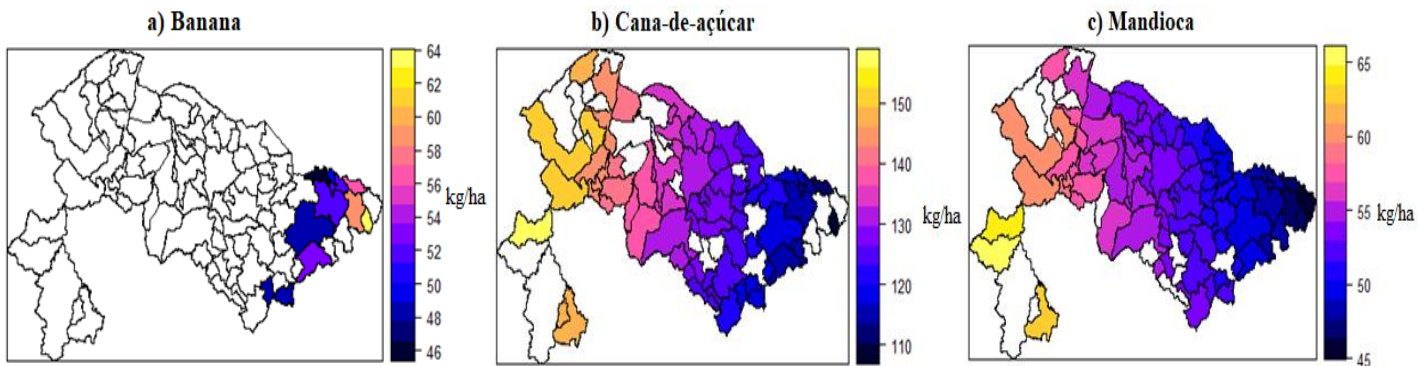
Observa-se na Figura 3, Painel B, que os municípios localizados no Oeste do semiárido mineiro tiveram a produtividade da cana-de-açúcar mais afetada com aridificação do clima, em comparação com os municípios situados no Leste. As cidades mais afetadas estão situadas nos biomas da Caatinga e no Cerrado, na macrorregião hidrográfica do São Francisco.

No âmbito da cultura da mandioca, 78 cidades plantaram e colheram o cultivar nos 19 períodos avaliados, correspondendo um painel balanceado de 1.482 observações. Caso o semiárido mineiro torne-se mais árido em 1 nível, tem-se que a produtividade da mandioca reduz em 53,2 kg por hectare, todos 78 municípios apresentaram valores estatisticamente diferentes de zero ( $\alpha = 5\%$ ).

Os municípios produtores de mandioca mais afetados estão localizados no bioma do Cerrado sobre a macrorregião hidrográfica do São Francisco (Painel C, Figura 3). Os resultados encontrados para o cultivo da mandioca são semelhantes aos de Araújo *et al.* (2014). Segundo esses autores a produtividade do referido gênero agrícola reduzirá na região sul da Bahia, local que faz divisa com o semiárido mineiro, até o final do século XXI.

Na mesma linha, Bongiovani (2020) averiguou para o contexto intermediário de emissões dos gases do efeito estufa que as cidades de Brotas de Macaúbas, Cotegipe e Itaguaçu da Bahia (localizadas no estado da Bahia) e municípios Januária, Itinga e Buritizeiro (situados em Minas Gerais) terão as maiores quedas na produtividade da mandioca, quando comparado com outros 44 municípios do semiárido brasileiro.

Figura 3: Resposta da produtividade agrícola (kg/ha) dado o decréscimo de 1 no índice De Martonne



Fonte: Resultados da pesquisa. Valores calculados com intervalo de confiança de 95%.

Em suma, os resultados encontrados confirmam as duas hipóteses citadas na seção 1. A primeira diz respeito ao fato de a aridificação do clima comprometer o desempenho agrícola, de fato para as três culturas analisadas a elevação da aridez reduz a produtividade. A segunda relaciona o fato de as culturas perenes serem mais resistentes a variância climática, como visto a banana foi a cultura menos atingida.

## CONCLUSÕES

O número de análises dos impactos da mudança climática sobre a produtividade agrícola vem elevando-se cada vez mais. A agricultura é um dos setores mais sensíveis a esses eventos e uma redução na produção agrícola compromete toda a sociedade. Sabe-se que as regiões com maiores gargalos sociais, como é o caso do semiárido mineiro, detêm maiores dificuldades para adaptar a cenários climáticos restritivos.

O semiárido de Minas Gerais, delimitado em 2017, detém um setor rural constituído por pequenas propriedades rurais, classificadas como agricultura familiar, que acessam o crédito, porém, ao mesmo tempo, têm dificuldades com o acesso a assistência técnica. Além disso, as 91 cidades que formam a região são heterogêneas, isto é, estão inseridas em distintos biomas e unidades hidrográficas, logo medidas de resiliência climáticas são distintas entre as cidades.

Observou-se, entre 2001 e 2019, que a aridificação do clima comprometeu o desempenho das três culturas analisadas. Caso o índice de aridez De Martonne reduza em um nível, haverá uma queda de 30 kg/ha na produção de bananas. Quanto a produtividade da cana-de-açúcar, quando há redução de um nível, verifica-se redução de 130,5 kg/ha. Para a mandioca, observa-se uma queda de 53,2 kg/ha com a redução de 1 nível no índice De Martonne.

A presente análise foi conduzida com o método de *GWPR*, permitindo estimar os efeitos em nível municipal. Em contrapartida, não analisou a tendência para o desempenho produtivo das três culturas para os próximos anos, ficando como sugestão para pesquisas futuras. Espera-

se que os resultados encontrados contribuam para aprofundamento deste assunto e para políticas públicas que visam minimizar os efeitos das mudanças climáticas sobre a agricultura, especialmente em regiões semiáridas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o financiamento recebido da Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, que viabilizou a realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, P. H. C. *et al.* Uma análise do impacto das mudanças climáticas na produtividade agrícola da região Nordeste do Brasil. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza-CE, n. 3, p. 46–57, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.61673/ren.2014.118>. Acesso em: 13 mar. 2025.

BAYMA, G. *et al.* **Método para determinar o bioma predominante nos municípios brasileiros**. Campinas-SP: 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1144751/metodo-para-determinar-o-bioma-predominante-nos-municipios-brasileiros>. Acesso em: 13 mar. 2025.

BONGIOVANI, P. F. **Mudanças climáticas, seus impactos na cultura da mandioca no Semiárido Brasileiro e estratégias de manejo para mitigação das perdas**. 2020. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/D.11.2020.tde-11032020-084003>. Acesso em: 13 mar. 2025.

BIVAND, R.; YU, D. **spgwr**: Geographically Weighted Regression. R package version 0.6-32. 2017.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Presidência da República, [1988]. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 13 mar. 2025.

\_\_\_\_. **Lei Federal nº 7.827, de 27 de setembro de 1989**. Regulamenta o artigo 159, inciso I, alínea c, da Constituição Federal. Brasília, DF: Presidência da República, [1989]. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7827.htm#:~:text=LEI](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7827.htm#:~:text=LEI). Acesso em: 13 mar. 2025.

\_\_\_\_. **Nova Delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília-DF: Ministério da Integração Nacional – Secretária de Políticas de Desenvolvimento Regional, 2005b. Disponível em: [https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/publicacoes/cartilha\\_delimitacao\\_semi\\_arido.pdf](https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNPU/Biblioteca/publicacoes/cartilha_delimitacao_semi_arido.pdf). Acesso em: 13 mar. 2025.

\_\_\_\_. Portaria Interministerial nº 1, de 9 de março de 2005. Estabelecimento de critérios técnicos definidores de clima semiárido. Brasília-DF: **Diário Oficial da União**, nº 48, 9 mar. 2005a. Disponível em: <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=11/03/2005&jornal=1&pagina=41&totalArquivos=88>. Acesso em: 14 mar. 2025.

\_\_\_\_. **Resolução Condel/Sudene no 176, de 3 de janeiro de 2024**. Aprovação do relatório conclusivo elabora pela Equipe Técnica do Comitê Provisório do Condel/Sudene. Brasília-DF: Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional 8 jan. 2024. Disponível em:

- <https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=08/01/2024&jornal=515&pagina=946>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- CAI, R.; YU, D.; OPPENHEIMER, M. Estimating the Spatially Varying Responses of Corn Yields to Weather Variations using Geographically Weighted Panel Regression. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, [s.l.], v. 39, n. 2, p. 230–252, 2014. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/44131327>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- CARLOS, S. M.; CUNHA, D. A.; PIRES, M. V. Conhecimento sobre mudanças climáticas implica em adaptação? Análise de agricultores do Nordeste brasileiro. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s.l.], v. 57, n. 3, p. 455–471, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187600>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- CHEN, D. *et al.* Framing, Context, and Methods. In: MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (org.). **Climate Change 2021 - The Physical Science Basis**. 6. ed. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press, 2023. p. 147–286. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.003>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/15406-calendario-agricola-plantio-e-colheita>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- DE MARTONNE, M. E. Une nouvelle fonction climatologique: l'Indice d'Aridité. **La Météorologie**, n. 19, p. 449-458, 1926.
- FOTHERINGHAM, A. S.; BRUNSDON, C.; CHARLTON, M. **Geographically Weighted Regression: the analysis of spatially varying relationships**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2002.
- GONDIM, R. S. *et al.* Impactos das mudanças climáticas na demanda de irrigação da bananeira na Bacia do Jaguaribe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 15, n. 6, p. 594–600, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000600009>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. **Econometria Básica**. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA – IBGE. **Bacias e Divisões hidrográficas do Brasil**. Rio de Janeiro-RJ, 2021b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/31653-bacias-e-divisoes-hidrograficas-do-brasil.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- \_\_\_\_\_. **Biomass**. Rio de Janeiro-RJ, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/estudos-ambientais/15842-biomass.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 07 mar. 2025.
- \_\_\_\_\_. **Censo Agropecuário**. Rio de Janeiro-RJ, 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- \_\_\_\_\_. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-demografico/demografico-2022/inicial>. Acesso em: 16 mar. 2023.

\_\_\_\_. **Malha Municipal**. Rio de Janeiro-RJ, 2021a. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 13 mar. 2025.

\_\_\_\_. **Pesquisa Agrícola Municipal**. Rio de Janeiro-RJ, 2021c. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>. Acesso em: 13 mar. 2025.

\_\_\_\_. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Rio de Janeiro-RJ, 2022. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>. Acesso em: 16 mar. 2023.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Atlas da Vulnerabilidade Social**. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <http://ivs.ipea.gov.br>. Acesso em: 24 mar. 2024.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. Glossary. In: MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (org.). **Climate Change 2021 – The Physical Science Basis**. 6. ed. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press, 2023. p. 2215–2256. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.003>. Acesso em: 14 mar. 2025.

KERR, R. B. *et al.* Food, Fibre and Other Ecosystem Products. In: PORTNER, H. O. *et al.* (org.). **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 6. ed. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press, 2022. p. 713–906. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.007>. Acesso em: 14 mar. 2025.

LAVORATO, M. P. **Assessing the feasibility of a weather index insurance for the semi-arid region of Brazil**. 2020. Tese (Economia Aplicada) – Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada do Departamento de Economia Rural Universidade Federal de Viçosa (PPGEA/DER/UFV), Viçosa-MG, 2020. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/5bfbd999-9da5-4b5e-ab5b-f5820913bdc2/content>. Acesso em: 15 out. 2024.

LEMOS, J. J. S. **Vulnerabilidades Induzidas no Semiárido**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/54842>. Acesso em: 14 mar. 2025.

LICKLEY, M.; SOLOMON, S. Drivers, timing and some impacts of global aridity change. **Environmental Research Letters**, [s.l.], v. 13, n. 10, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aae013>. Acesso em: 14 mar. 2025.

MARENGO, J. A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity/drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Climatic Change**, [s.l.], v. 129, n. 1–2, p. 103–115, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1310-1>. Acesso em: 14 mar. 2025.

MARENGO, J. A. *et al.* Increase risk of drought in the semiarid lands of Northeast Brazil due to regional warming above 4 °C. In: NOBRE, C. A.; MARENGO, J. A.; SOARES, W. R. (org.). **Climate change risks in Brazil**. New York (USA): Springer International, 2019. p. 181-200.

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil – past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, [s.l.], v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>. Acesso em: 14 mar. 2025.

MARIN, F.; NASSIF, D. S. P. Mudanças climáticas e a cana-de-açúcar no Brasil: Fisiologia, conjuntura e cenário futuro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 232–239, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000200015>. Acesso em: 14 mar. 2025.

- MIRZABAEV, A. *et al.* Deserts, Semiarid Areas and Desertification. In: PORTNER, H. O. *et al.* (org.). **Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability**. 6. ed. Cambridge (UK), New York (USA): Cambridge University Press, 2023. p. 2195–2232. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.020>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- MORAES, G. I.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Brasil, Mudanças Climáticas e Economia: O que há estabelecido?. **Planejamento e Políticas Públicas**, [s.l.], n. 41, 2022. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/ppp/index.php/PPP/article/view/260>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- ORTIZ-BOBEA, A. *et al.* Anthropogenic climate change has slowed global agricultural productivity growth. **Nature Climate Change**, [s.l.], v. 11, n. 4, p. 306–312, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01000-1>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- PNUD BRASIL; IPEA; FJP. **ATLAS BR: Índice de Desenvolvimento Humano Municipal**. Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.atlasbrasil.org.br/>. Acesso em: 13 mar. 2025.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna (Áustria): R Foundation for Statistical Computing, 2022. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 14 mar. 2025.
- SANTOS, C. V.; OLIVEIRA, A. F.; FERREIRA FILHO, J. B. S. Potential Impacts of Climate Change on Agriculture and the Economy in Different Regions of Brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, [s.l.], v. 60, n. 1, p. 1–24, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.220611>. Acesso em: 15 mar. 2025.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE - SUDENE. **Delimitação do Semiárido - 2021: Relatório Final**. Recife-PE: 2021. Disponível em: [https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia\\_semiarido2021\\_v9\\_verseaodefinitiva\\_1.pdf](https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/8-relatoriometodologia_semiarido2021_v9_verseaodefinitiva_1.pdf). Acesso em: 14 mar. 2025.
- WHEELER, D. C.; PÁEZ, A. Geographically Weighted Regression. In: FISCHER, M. M.; GETIS, A. (Ed.). **Handbook of Applied Spatial Analysis: Software Tools, Methods and Applications**. Berlin: Springer-Verlag, 2010.
- XAVIER, A. C. *et al.* New improved Brazilian daily weather gridded data (1961–2020). **International Journal of Climatology**, [s.l.], v. 42, n. 16, p. 8390–8404, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/joc.7731>. Acesso em: 14 mar. 2025.