Mercator, Fortaleza, v. 25, e25014, 2026 ISSN:1984-2201

TENDÊNCIAS E EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO EM GOIÁS, BRASIL

https://doi.org/10.36517/rm2026.e25014

Silva, G.C. [a]* - Nascimento, D.T.F. [b]

(a) Mestrando em Geografia
ORCID: https://orcid.org/0009-0006-7445-1447. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/6044653285685736.
(b) Doutor em Geografia
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0420-3636. **LATTES:** http://lattes.cnpq.br/7583595383127682.

Article history:
Received 12 February, 2025
Accepted 14 May, 2026
Published 10 July, 2026

(*) CORRESPONDING AUTHOR
Address: UFG. Avenida Esperança s/n, Câmpus Samambaia, Prédio da Reitoria, CEP 74690-900, Goiânia (GO), Brasil. Tel: (+55 62) 3521-1184.
E-mail: guilherme_card1@hotmail.com

ARTIGO

Resumo

As mudanças climáticas são inequívocas, generalizadas, aceleradas, irreversíveis e sem precedentes históricos, com eventos climáticos extremos registrados em todas as regiões do planeta, causando impactos adversos nas esferas ambientais, econômicas e sociais. A pesquisa teve como objetivo identificar as tendências e os eventos extremos climáticos no estado de Goiás, utilizando índices de temperatura do ar e precipitação pluviométrica de uma série temporal de 45 anos (1980 a 2024), com base em dados diários registrados por sete estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), situadas em Goiânia, Jataí, Pirenópolis, Aragarças, Formosa, Posse e Ipameri. Para tanto, foram empregados índices desenvolvidos pelo Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), vinculado à Organização Mundial de Meteorologia (OMM). Foram calculados 17 índices com o software R, por meio da extensão Rclimdex. Para os índices relacionados a precipitação, os dados apontam uma tendência negativa com significância estatística alta em apenas algumas estações. Para o caso dos índices relacionados à temperatura, observa-se tendência positiva com alta significância estatística em todas as estações analisadas, o que demonstra incremento das temperaturas máximas e mínimas ao longo da série temporal analisada. Este estudo demonstra tendências significativas de aquecimento e o aumento de eventos climáticos extremos em Goiás, reforçando a necessidade de medidas de adaptação e mitigação baseadas em evidências para aumentar a resiliência e promover o desenvolvimento sustentável em um clima em mudança.

Palavras-chave: Mudanças Climáticas, Aquecimento Global, Tendências Climáticas, Índices Climáticos, Rclimdex.

Abstract / Resumen

TRENDS AND EXTREME EVENTS IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN GOIÁS, BRAZIL

Climate change is unequivocal, widespread, accelerating, irreversible and without historical precedent, with extreme climatic events recorded in all regions of the planet, causing adverse impacts in the environmental, economic and social spheres. The aim of this research was to detect climate change trends and identify extreme events and in the The study aimed to identify climate trends and extreme weather events in the state of Goiás, using air temperature and precipitation indices from a 45-year time series (1980 to 2024), based on daily data recorded by seven conventional weather stations of the National Meteorological Institute, located in Goiânia, Jataí, Pirenópolis, Aragarças, Formosa, Posse and Ipameri. To this end, indices developed by the Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), linked to the World Meteorological Organization (WMO), were used. Seventeen indices were calculated with the R software, using the Rclimdex extension. For the precipitation-related indices, the data show a negative trend with high statistical significance in only a few stations. In the case of the temperature-related indices, there is a positive trend with high statistical significance at all the stations analyzed, which shows an increase in maximum and minimum temperatures over the time series analyzed. This study demonstrates significant warming trends and increasing climate extremes in Goiás, reinforcing the need for evidence-based adaptation and mitigation measures to enhance resilience and promote sustainable development under a changing climate.

Keywords: Climate Change, Global Warming, Climate Trends, Climate Indices, Rclimdex.

TENDENCIAS Y FENÓMENOS EXTREMOS DE LA TEMPERATURA DEL AIRE Y LAS PRECIPITACIONES EN GOIÁS, BRASIL

El cambio climático es inequívoco, generalizado, acelerado, irreversible y sin precedentes históricos, con eventos climáticos extremos registrados en todas las regiones del planeta, causando impactos adversos en las esferas ambiental, económica y social. El objetivo de esta investigación fue identificar las tendencias y los fenómenos climáticos extremos en el estado de Goiás, utilizando índices de temperatura del aire y precipitaciones de una serie temporal de 45 años (1980 a 2024), basándose en datos diarios registrados por siete estaciones meteorológicas convencionales del Instituto Nacional de Meteorología (INMET), situadas em Goiânia, Jataí, Pirenópolis, Aragarças, Formosa, Posse y Ipameri. Para ello, se utilizaron índices desarrollados por el Equipo de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI), vinculado a la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Diecisiete índices se calcularon con el programa informático R, utilizando la extensión Rclimdex. Para los índices relacionados con la precipitación, los datos muestran una tendencia negativa con alta significación estadística sólo en unas pocas estaciones. En el caso de los índices relacionados con la temperatura, se observa una tendencia positiva con alta significación estadística en todas las estaciones analizadas, lo que muestra un aumento de las temperaturas máximas y mínimas a lo largo de la serie temporal analizada. Este estudio pone de manifiesto tendencias significativas de calentamiento y un aumento de los fenómenos climáticos extremos en Goiás, lo que refuerza la necesidad de adoptar medidas de adaptación y mitigación basadas en datos empíricos para aumentar la resiliencia y promover el desarrollo sostenible en un clima cambiante.

Palabras-clave: Cambio Climático, Calentamiento Global, Tendencias Climáticas, Índices Climáticos, Rclimdex.

This is an open access article under the CC-BY 3.0 Creative Commons license

INTRODUÇÃO

Compreender a variabilidade e as mudanças nos parâmetros climáticos é de suma importância, pois constitui a base para o diagnóstico e o prognóstico ambientais. Esses conhecimentos são fundamentais para orientar o planejamento das atividades humanas e mitigar ou prevenir perdas e danos indesejáveis.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) é categórico ao afirmar que as mudanças climáticas globais são um reflexo das ações humanas, apontando que essas mudanças são generalizadas, aceleradas, irreversíveis e sem precedentes históricos. O mesmo órgão ressalta ainda o aumento da frequência, intensidade e gravidade de eventos climáticos extremos em todo o mundo, frequentemente associados a anomalias extremas de temperatura (por exemplo, ondas de calor ou frio), episódios de chuvas intensas ou secas prolongadas.

Nas últimas décadas, testemunhamos ondas de calor recordes na Europa, Ásia, América do Norte e outras regiões, bem como eventos de precipitação cada vez mais intensos, secas prolongadas e fenômenos extremos combinados que afetam ecossistemas, infraestrutura, produção de alimentos, recursos hídricos e saúde humana.

Entre os exemplos recentes mais significativos estão as ondas de calor extremas registradas na Europa, China e Estados Unidos durante 2023, quando as temperaturas ultrapassaram recordes históricos em várias regiões – incluindo o registro de 52,2 °C em Sanbao (Xinjiang, China), de acordo com a Administração Meteorológica da China (CMA). Inicialmente, 2023 foi declarado o ano mais quente já registrado desde o início das medições em 1850 (OMM, 2024). No entanto, 2024 superou esse recorde, tornando-se o primeiro ano a ultrapassar 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais (COPERNICUS, 2025). Ao mesmo tempo, eventos de precipitação extrema tornaram-se mais frequentes e destrutivos em muitas partes do mundo, causando inundações, deslizamentos de terra e perdas econômicas significativas. Por outro lado, secas prolongadas afetaram vastas áreas da América do Sul, África, Europa e oeste da América do Norte, comprometendo a disponibilidade de água, a produção agrícola e a geração de energia.

Na América do Sul, e particularmente no Brasil, os efeitos da variabilidade e das mudanças climáticas tornaram-se cada vez mais evidentes por meio de extremos tanto de temperatura quanto de precipitação. No inverno de 2022, uma massa de ar frio levou a temperaturas recordes de baixa nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil, com temperaturas mínimas registradas de 4,9 °C em Brasília (DF), 7,0 °C em Cuiabá (MT), 7,6 °C em Belo Horizonte (MG) e 7,8 °C em Goiânia (GO). Por sua vez, uma onda de calor em 2023 resultou em temperaturas recordes, incluindo 44,8 °C em Araçuaí (MG) e 44,2 °C em Cuiabá (MT), de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Além disso, exemplos notáveis incluem os eventos de chuvas extremas no Nordeste e Sudeste do Brasil em 2022 e no Rio Grande do Sul em 2024, que resultaram em centenas de mortes e deslocaram milhares de pessoas. Em contrapartida, secas severas afetaram vastas áreas das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste, notadamente durante as secas na Amazônia de 2005, 2010 e 2023–2024, a seca prolongada no Nordeste entre 2012 e 2017 e a seca generalizada que afetou o centro do Brasil durante 2020–2021, causando impactos substanciais nos recursos hídricos, na agricultura, na produção de energia, na navegação e no funcionamento dos ecossistemas.

Embora os eventos climáticos extremos não sejam fenômenos novos exclusivos dos últimos anos no Brasil (ARTAXO, 2014, 2020; MARENGO, 2009; MARENGO, CARDONA, MARTINEZ, 2022), a atual crise climática global é caracterizada pelo aumento de sua recorrência, intensidade, duração e gravidade. Esses eventos afetam de forma desproporcional países, comunidades e ecossistemas, com impactos maiores sobre aqueles que são mais vulneráveis ou sensíveis (MARENGO et al., 2009).

Nesse contexto, a Região Centro-Oeste do Brasil merece atenção especial devido à sua dependência econômica da agricultura e da pecuária. Esses setores são altamente suscetíveis a flutuações de temperatura e a extremos de precipitação, o que pode levar à redução da produtividade agrícola, à perda de safras e à mortalidade do gado (CASSOL; BOHNER, 2012). Além das perdas econômicas, as irregularidades e anomalias climáticas também afetam a disponibilidade de água, impactando a produção de alimentos, o abastecimento doméstico de água e a geração de energia hidrelétrica. Isso, por sua vez, agrava os desafios relacionados à segurança alimentar, hídrica e energética (RODRIGUES,

2017). O IPCC (2021) projeta que o Centro-Oeste brasileiro apresentará uma tendência de aumento das temperaturas, redução da umidade relativa e alteração nos padrões de precipitação. Essa projeção é corroborada por estudos científicos realizados no estado de Goiás (NEVES, 2018; DEUS; NASCIMENTO, 2021) e na Região Centro-Oeste como um todo (ALMEIDA, 2012; SANTOS et al., 2023).

Assim, o objetivo geral deste estudo é identificar tendências climáticas e eventos meteorológicos extremos associados a índices de temperatura do ar e precipitação em sete estações meteorológicas no estado de Goiás, utilizando uma série temporal de 45 anos (1980–2024). A análise emprega índices padronizados desenvolvidos pela Equipe de Especialistas em Detecção de Mudanças Climáticas e Índices (ETCCDI), afiliada à Organização Meteorológica Mundial (OMM).

Espera-se que este trabalho corrobore os cenários de mudanças climáticas projetados pelo IPCC para o estado de Goiás e elucide as tendências e ocorrências de extremos climáticos nos sete locais selecionados, que representam diversas tipologias climáticas: Goiânia, Jataí, Pirenópolis, Aragarças, Formosa, Posse e Ipameri. Os resultados visam fornecer uma base científica para a formulação de políticas públicas e planejamento estratégico para enfrentar a crise climática na região.

METODOLOGIA

LOCALIZAÇÃO E BREVE DESCRIÇÃO DA ÁREA EM ESTUDO

A área em estudo refere-se ao estado de Goiás, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil, com uma extensão de 340.242 km² — o que representa aproximadamente 4% do território nacional. Especificamente, o estudo concentra-se em sete municípios de Goiás onde estão localizadas estações meteorológicas convencionais. Essas estações foram selecionadas devido aos seus dados de séries temporais extensos e consistentes: Goiânia, Jataí, Pirenópolis, Aragarças, Formosa, Posse e Ipameri (Figura 1).

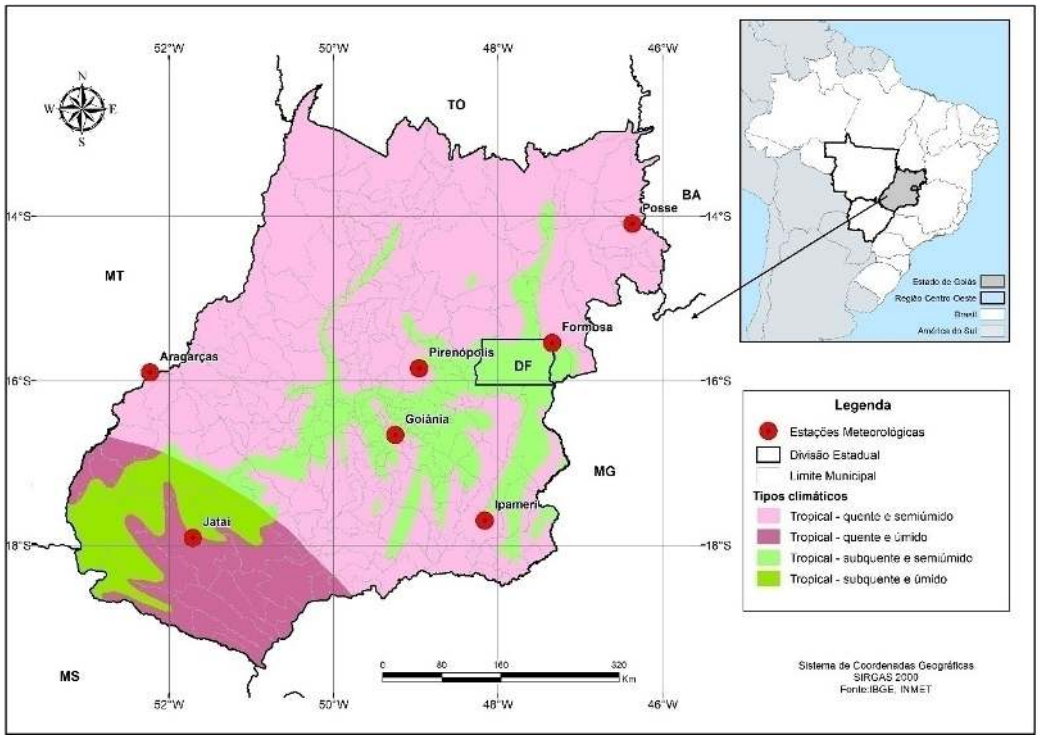

Figura 1 – Localização, tipos de clima e estações selecionadas no estado de Goiás. Fonte: autores, de acordo com o sistema de classificação climática de Koppen-Geiger (1961).

Conforme observado por Nimer (1979), a região em estudo apresenta uma temperatura média anual de 22 °C e uma precipitação média anual entre 1.550 mm e 1.750 mm, com uma estação seca que dura quatro meses, geralmente de maio a agosto. Por sua vez, com base em 105 estações pluviométricas da ANA e 47 estações climáticas do INMET, Cardoso, Marcuzzo e Barros (2014) relatam uma temperatura média anual de 23,4 °C para a área em questão, com valores mais elevados na região noroeste, chegando a uma média de 27 °C. Os autores relatam uma precipitação média anual de 1.500 mm, variando de 1.000 a 2.800 mm.

De acordo com os dados mais recentes, com base nas normas climáticas de 1991-2020 calculadas pelo INMET para as estações utilizadas no estudo (Tabela 1), a temperatura média anual mais alta é registrada em Aragarças (26 °C), e a mais baixa em Formosa e Jataí (22,8 °C) – devido à influência do clima continental, da altitude e da latitude, respectivamente.

Estação	Temperatura média anual (°C)	Menor Média mensal de Temperatura mínima (°C)	Maior Média mensal de Temperatura máxima média mensal (°C)	Precipitação média anual (mm)	Duração da estação seca (meses)
Posse	24,4	17,8 (julho)	32,5 (setembro)	1.345,5	5
Formosa	22,8	14,6 (julho)	30,8 (setembro)	1.339,4	5
Aragarças	26	15,5 (julho)	36,5 (setembro)	1.450,9	5
Pirenópolis	23,3	14,2 (julho)	33,7 (setembro)	1.725,9	5
Goiânia	24,5	14,8 (julho)	34,0 (setembro)	1.667,3	5
Jataí	22,8	11,6 (julho)	33,4 (setembro)	1.593,3	3
Ipameri	22,9	13,1 (julho)	31,8 (outubro)	1.481,8	5

Tabela 1 – Médias anuais e mensais das temperaturas média, máxima e mínima, bem como da precipitação e da duração da estação seca. Fonte: normas climáticas calculadas pelo INMET (1991/2020).

Conforme ilustrado na Figura 1, a tipologia climática predominante em Goiás é o clima tropical quente e semiúmido, caracterizado por temperaturas médias superiores a 18 °C ao longo do ano e um período seco de 4 a 5 meses – de acordo com o sistema de classificação climática de Koppen-Geiger (1961). Essa condição se reflete nas estações meteorológicas localizadas em Posse, Formosa, Aragarças, Pirenópolis e Goiânia. Além disso, observa-se uma tipologia de clima tropical quente e úmido na área de estudo, com apenas 3 meses secos, como exemplificado pela estação de Jataí.

Além disso, um clima tropical subquente está presente na região, caracterizado por temperaturas médias entre 15 °C e 18 °C em pelo menos um mês do ano. Na área de estudo, essa tipologia está associada principalmente a condições semiúmidas (com 5 meses secos), conforme representado pela estação meteorológica de Ipameri. No entanto, o clima tropical subquente também pode ocorrer em condições húmidas (apenas 3 meses secos), embora esse subtipo não seja representado por nenhuma das estações selecionadas nesta investigação.

De acordo com Campos et al. (2002), Luiz (2012), Neves (2018; 2019) e Nascimento e Oliveira (2020), o clima da região é influenciado pelas características fisiográficas e pela interação de sistemas atmosféricos de origem equatorial e tropical, com incursões ocasionais de sistemas polares. Essa dinâmica resulta em duas estações bem definidas: uma primavera/verão quente e chuvosa, impulsionada pelo predomínio da massa continental equatorial e da Zona de Convergência do Atlântico Sul, e um outono/inverno mais ameno e seco, influenciado pela massa tropical atlântica e pelas incursões de ar polar continentalizado.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para realizar este estudo, foram obtidos dados diários de precipitação e temperatura do ar (máxima e mínima) de sete estações meteorológicas convencionais administradas pelo Instituto

Nacional de Meteorologia (INMET) e localizadas no estado de Goiás (Formosa, Posse, Aragarças, Pirenópolis, Goiânia, Jataí e Ipameri).

Foi utilizada uma série temporal comum abrangendo 45 anos (1980–2024) para todas as estações, correspondendo a 16.437 registros diários. Embora as estações meteorológicas convencionais normalmente forneçam séries de dados mais longas e consistentes, foram identificadas algumas lacunas. A proporção máxima de dados ausentes foi de 10,6% para a temperatura máxima (Ipameri), 7,6% para a temperatura mínima (Formosa) e 2,8% para a precipitação (Aragarças). Essas porcentagens estão dentro da faixa geralmente considerada aceitável em estudos climatológicos (OMM, 2017).

Além disso, o cálculo dos índices climáticos permite que as observações ausentes sejam codificadas como −99,9 e inclui um procedimento de controle de qualidade para avaliar a influência potencial dos dados ausentes nos resultados (ZHANG; YANG, 2004). Assim, considerando a baixa proporção de valores ausentes, não foram aplicados procedimentos de preenchimento de dados, a fim de preservar a variabilidade original das séries e evitar uma homogeneização artificial que pudesse afetar os índices climáticos derivados.

Para detectar tendências climáticas e eventos meteorológicos extremos, foram utilizados índices desenvolvidos pela Expert Team on Climate Change Detection and Indices (ETCCDI), afiliada à Organização Meteorológica Mundial (OMM). Esses índices foram concebidos para medir e detectar a variabilidade e as mudanças nos parâmetros climáticos por meio de métricas padronizadas, permitindo a observação e a comparação em escala global (KARL, NICHOLLS, GHAZI, 1999). Uma descrição abrangente dos índices pode ser encontrada no relatório completo do workshop (PETERSON et al., 2001) ou em seu resumo (PETERSON, 2005).

Os índices padronizados da ETCCDI/OMM são amplamente utilizados na literatura científica em várias escalas. No Brasil, foram realizados estudos para todo o país (SALVIANO; GROPPO; PELLEGRINO, 2016; PENEREIRO; MESCHIATTI, 2018; REGOTO et al., 2021; COELHO et al., 2023), bem como para biomas específicos (LMEIDA et al., 2016; JOSEPH, SOUZA e SABINO, 2021; SILVA et al., 2019; LUIZ-SILVA et al., 2025), regiões (ALMEIDA, 2012; COSTA et al., 2020; SANTOS et al., 2023; SANTOS et al., 2024) e Unidades Federais (REBELLO, et al., 2008; SANTOS et al., 2009; SILVA et al., 2015; SILVA, MONTENEGRO, SOUZA, 2017; CASTELHANO; PINTO, 2022; LUIZ-SILVA; OSCAR-JUNIOR, 2022), além de inúmeros estudos em escala local.

Entre os 27 índices propostos pelo ETCCDI/OMM, 19 foram selecionados para este estudo: 11 relacionados à temperatura do ar e 8 à precipitação, conforme detalhado na Tabela 2. Os dados foram organizados em planilhas do Excel e processados utilizando a extensão Rclimdex do programa R, seguindo as recomendações de Zhang e Yang (2004) e Zhang et al. (2005).

Para avaliar a significância estatística, as tendências lineares foram calculadas utilizando o método dos mínimos quadrados (inclinação) e consideradas significativas caso excedessem o erro-padrão da estimativa (STD). As tendências com valores de p inferiores a 0,05, conforme determinado pelo teste t de Student, foram classificadas como altamente significativas do ponto de vista estatístico, enquanto aquelas com valores de p entre 0,05 e 0,1 foram consideradas moderadamente significativas, seguindo a abordagem sugerida por Santos et al. (2009).

Vale ressaltar que, embora a regressão linear baseada nos mínimos quadrados seja a abordagem padrão adotada na estrutura do ETCCDI/RClimDex, ela pode ser sensível a outliers, desvios da normalidade e correlação serial. Portanto, estudos futuros poderiam complementar a análise utilizando abordagens não paramétricas, como o teste de Mann-Kendall e o estimador de inclinação de Theil-Sen, devido à sua maior robustez em relação à não normalidade, autocorrelação e valores atípicos.

Sigla	Nome	Descrição	Unidade
TXx	Temperatura máxima mais alta	Valor máximo da temperatura máxima diária	°C
TXn	Temperatura máxima mais baixa	Valor mínimo da temperatura máxima diária	°C
TNx	Temperatura mínima mais alta	Valor máximo da temperatura mínima diária	°C
TNn	Temperatura mínima mais baixa	Valor mínimo da temperatura mínima diária	°C
TX10p	Dias frios	Porcentagem de dias em que a temperatura máxima diária ficou abaixo do 10º percentil	%
TX90p	Dias quentes	Porcentagem de dias em que a temperatura máxima diária ficou acima do 90º percentil	%
TN10p	Noites Frias	Porcentagem de dias em que a temperatura mínima diária ficou abaixo do 10º percentil	%
TN90p	Noites Quentes	Porcentagem de dias em que a temperatura mínima diária ficou acima do 90º percentil	%
WSDI	Duração dos períodos quentes	Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos em que a temperatura máxima diária ficou acima do 90º percentil	dias
CSDI	Duração dos períodos frios	Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos em que a temperatura mínima diária ficou abaixo do 10º percentil	dias
DTR	Amplitude térmica diária	Diferença entre a temperatura máxima e a mínima	°C
RX1day	Quantidade máxima de precipitação em 1 dia	Volume máximo de precipitação em um dia	mm
RX5day	Quantidade máxima de precipitação em 5 dias	Volume máximo de precipitação em cinco dias consecutivos	mm
R10mm	Dias com precipitação forte (>10 mm)	Número de dias por ano com precipitação superior a 10 mm	dias
R20mm	Dias com precipitação intensa (>20 mm)	Número de dias por ano com precipitação superior a 20 mm	dias
R40mm	Dias com precipitação muito intensa (>40 mm)	Número de dias por ano com precipitação superior a 40 mm	dias
CDD	Dias secos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com precipitação inferior a 1 mm	dias
CWD	Dias chuvosos consecutivos	Número máximo de dias consecutivos com precipitação superior a 1 mm	dias
PRCPTOT	Precipitação Total	Precipitação anual total	mm

Tabela 2 – Lista dos índices climáticos utilizados. Fontes: Autores.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores dos índices de tendência climática para as sete estações selecionadas no estado de Goiás, com base no período de 1980 a 2024, são apresentados na Tabela 3. Para os índices relacionados à temperatura, observou-se uma predominância de tendências positivas (indicando um aumento), com alta significância estatística em todas as estações para as temperaturas máximas mais altas e mais baixas (TXx e TXn), as temperaturas mínimas mais altas e mais baixas (TNx e TNn) e a amplitude térmica diária (DTR).

Os índices de dias quentes (TX90p) e noites quentes (TN90p) também apresentaram tendências positivas (aumento), com boa significância estatística na maioria dos locais, exceto nas estações de Aragarças e Formosa, onde não se observou significância. O índice de duração do período quente (WSDI) apresentou uma tendência positiva, mas sem significância estatística em todos os locais estudados. Esses resultados estão alinhados com o cenário global de aumento das temperaturas (IPCC, 2021) e são consistentes com estudos anteriores para o estado de Goiás (Almeida, 2012; Neves, 2018;

Hofmann et al., 2021, 2023; Santos et al., 2023; Silva e Nascimento, 2021), Brasil (Regoto et al., 2021) e continente sul-americano (Skansi et al., 2013).

Índices / Estações		Aragarças	Pirenópolis	Goiânia	Posse	Formosa	Jataí	Ipameri
TXx	Temperatura máxima mais alta	**0.097**	**0.102**	**0.107**	**0.088**	**0.069**	**0.079**	**0.098**
TXn	Temperatura máxima mais baixa	**0.048**	**0.084**	**0.074**	**0.024**	**0.066**	**0.052**	**0.09**
TNx	Temperatura mínima mais alta	**0.041**	**0.040**	**0.074**	**0.056**	**0.08**	**0.037**	**0.045**
TNn	Temperatura mínima mais baixa	**0.015**	**0.018**	**0.058**	**0.009**	**0.034**	**0.005**	**-0.007**
TX10p	Dias frios	-0.369	-0.633	-0.416	-0.426	-0.412	-0.232	-0.32
TX90p	Dias quentes	0.692	0.889	0.802	0.607	0.57	0.599	0.646
TN10p	Noites Frias	0.087	-0.299	-0.564	-0.187	-0.349	-0.314	-0.298
TN90p	Noites Quentes	0.130	0.495	0.625	**0.352**	0.701	0.471	0.462
WSDI	Duração dos períodos quentes	0.424	0.598	0.811	0.309	0.36	0.630	0.559
CSDI	Duração dos períodos frios	-0.066	**-0.072**	-0.483	-0.227	-0.223	-0.068	-0.084
DTR	Amplitude térmica diária	**0.055**	**0.047**	**0.010**	**0.033**	**0.013**	**0.016**	**0.036**
RX1day	Precipitação em 1 dia	0.103	-0.256	0.283	-0.421	0.032	0.054	0.171
RX5day	Precipitação em 5 dias	-0.559	-0.829	0.056	-0.512	-0.871	-0.292	0.168
R10mm	Dias com precipitação forte (>10 mm)	-0.174	-0.187	-0.122	-0.299	-0.279	-0.197	-0.191
R20mm	Dias com precipitação intensa (>20 mm)	-0.071	-0.021	-0.058	-0.188	-0.141	-0.093	-0.006
R40mm	Dias com precipitação muito intensa (>40 mm)	**-0.030**	**0.000**	**0.031**	**-0.067**	**-0.036**	**0.016**	**-0.022**
CDD	Dias secos consecutivos	0.630	0.574	1.132	0.543	0.795	0.321	0.238
CWD	Dias chuvosos consecutivos	**0.002**	**0.008**	**-0.001**	**-0.060**	**-0.075**	**-0.058**	**-0.093**
PRCPTOT	Precipitação Total	**-6.620**	-2.849	**-0.720**	**-8.786**	**-7.656**	**-4.703**	**-3.551**

Tabela 3 – Índices de detecção de tendências para estações selecionadas em Goiás no período de 1980 a 2024. Fonte: autores, com base em dados de estações meteorológicas e cálculos realizados no RClimDEX. Nota: tendências positivas em verde e tendências negativas em vermelho; alta significância estatística em cinza escuro (valor p < 0,05) e boa significância estatística em cinza claro (valor p entre 0,05 e 0,1).

Por outro lado, os índices relativos aos dias frios (TX10p), noites frias (TN10p) e duração do período frio (CSDI) apresentaram tendências negativas (diminuição), com boa significância estatística na maioria dos locais. Isso sugere uma redução na frequência de dias e noites mais frios, em consonância com os resultados de Santos et al. (2006), Nascimento, Santos e Barros (2011) e Luiz (2012) para Goiânia, e Almeida (2012) e Santos et al. (2023) para a Região Centro-Oeste como um todo. Em relação aos índices relacionados à precipitação, predominaram tendências negativas (redução) para a precipitação máxima em 5 dias (RX5day), dias com precipitação superior a 10 mm (R10mm), 20 mm (R20mm) e 40 mm (R40mm), dias chuvosos consecutivos (CWD) e precipitação anual total (PRCPTOT).

Os índices R40mm, CWD e PRCPTOT apresentaram alta significância estatística, enquanto R10mm e R20mm exibiram boa significância em todas as estações. Em contrapartida, o índice de dias secos consecutivos (CDD) apresentou uma tendência positiva em todas as estações, e o índice de precipitação máxima em 1 dia (RX1day) aumentou em cinco dos sete locais, embora nenhuma das tendências tenha sido estatisticamente significativa.

Essas tendências de precipitação são consistentes com as conclusões de Alexander et al. (2006) para grande parte do globo, de Salviano, Groppo e Pellegrino (2016) para mais de 70% do território brasileiro, e de Santos et al. (2006), Penereiro e Meschiatti (2018), Santos et al. (2023) e Neves et al. (2024) para o estado de Goiás. Os resultados indicam um cenário preocupante: uma redução nos totais anuais de precipitação, menos dias com chuva (sejam consecutivos ou não) e uma estação chuvosa mais curta. Isso está alinhado com as projeções do IPCC para a Região Centro-Oeste e é corroborado por estudos como os de Skansi et al. (2013), Almeida (2012), Marcuzzo, Oliveira e Cardoso (2013), Neves (2018) e Santos et al. (2023).

A análise das séries temporais com base nos índices ETCCDI/WMO também destaca eventos de temperatura extrema. Conforme mostrado na Figura 2, a temperatura máxima (TXx) mais alta registrada foi de 43,3 °C na estação de Aragarças em outubro de 2020, seguida por 42,0 °C em Jataí e 41,2 °C em Goiânia durante o mesmo mês e ano. Esses valores superam os recordes anteriores para a área de estudo (NASCIMENTO, LIMA, CRUZ, 2019; DEUS, NASCIMENTO, 2021), ressaltando o quebrar de recordes de temperatura ano após ano. Temperaturas máximas extremas também foram registradas em 2024 nas estações de Pirenópolis e Posse, um ano marcado como o mais quente desde o início dos registros e o primeiro a ultrapassar 1,5 °C acima dos níveis pré-industriais (COPERNICUS, 2025).

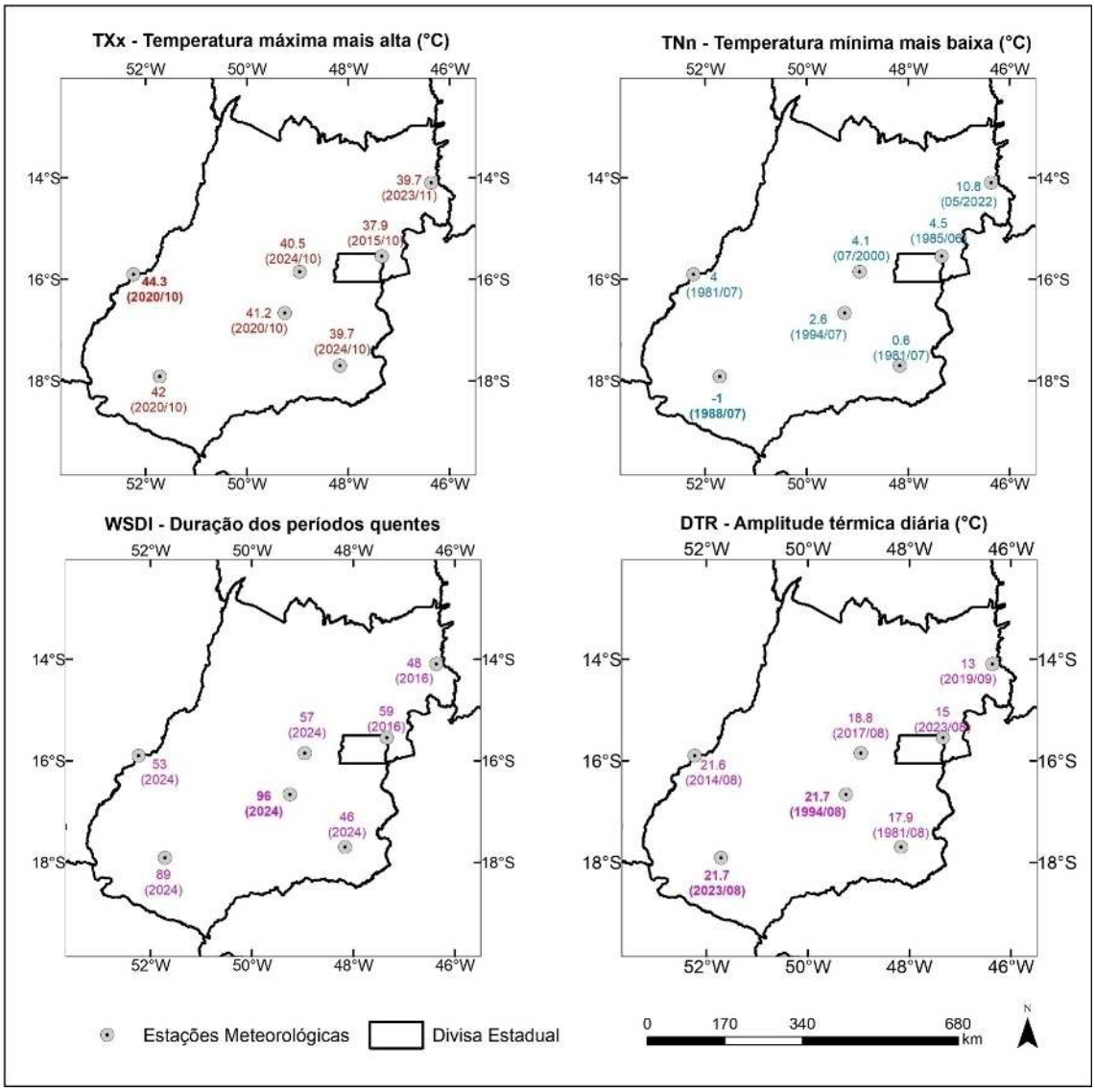

Figura 2 – Variação espacial de eventos extremos de 1980 a 2024 para alguns índices associados à temperatura do ar (TXx, TNn, WSDI e DTR). Fonte: autores, com base em dados do INMET processados no RClimDEX.

Os registros de temperatura mínima mais baixa (TNn) foram de -1,0 °C em 1988 em Jataí, 0,6 °C em 1981 em Ipameri e 2,6 °C em 1994 em Goiânia. Os primeiro e último locais, situados nas regiões sudoeste e sudeste de Goiás, respectivamente, são mais suscetíveis a incursões de massas de ar polares, conforme observado por Nascimento (2016) e Neves (2019). Tais baixas temperaturas representam riscos significativos para as culturas agrícolas, a pecuária e a saúde humana, particularmente para populações vulneráveis, como idosos, crianças e pessoas com doenças crônicas (FENNER, SILVA, GURGEL, 2009; MENDONÇA, 2005).

As ondas de calor foram outro evento extremo notável, com uma duração recorde de 96 dias em Goiânia em 2024. Registros semelhantes foram observados em Jataí (89 dias), Aragarças (53 dias), Pirenópolis (57 dias) e Ipameri (46 dias) durante o mesmo ano. Essas ondas de calor prolongadas, atribuídas à influência do fenômeno El Niño, representam sérios riscos à saúde, incluindo aumento da mortalidade cardiovascular e respiratória, particularmente entre grupos vulneráveis, como idosos, gestantes e indivíduos com doenças crônicas (MASSELOT et al., 2023; ROMANELLO et al., 2024). Além disso, há um grande risco de desidratação, especialmente porque o período é seco e associado a níveis mais baixos de umidade relativa.

Também foram observadas amplas variações diárias de temperatura (DTR), especialmente no final do inverno e no início da primavera. Os valores recordes de DTR incluíram 21,7 °C em Goiânia e Jataí e 21,6 °C em Aragarças, registrados em agosto de 1994, 2023 e 2014, respectivamente. Tais flutuações podem agravar os riscos à saúde e afetar a produtividade agrícola.

Os mapas da Figura 3 ilustram valores extremos de precipitação máxima em 1 dia (RX1day), com registros notáveis de 174 mm em Posse (1994), 167 mm em Pirenópolis (1989) e 151 mm em Jataí (2005). Ainda mais alarmantes foram os eventos extremos de precipitação em 5 dias, com registros de 390 mm em Pirenópolis, 358 mm em Aragarças e 245 mm em Goiânia.

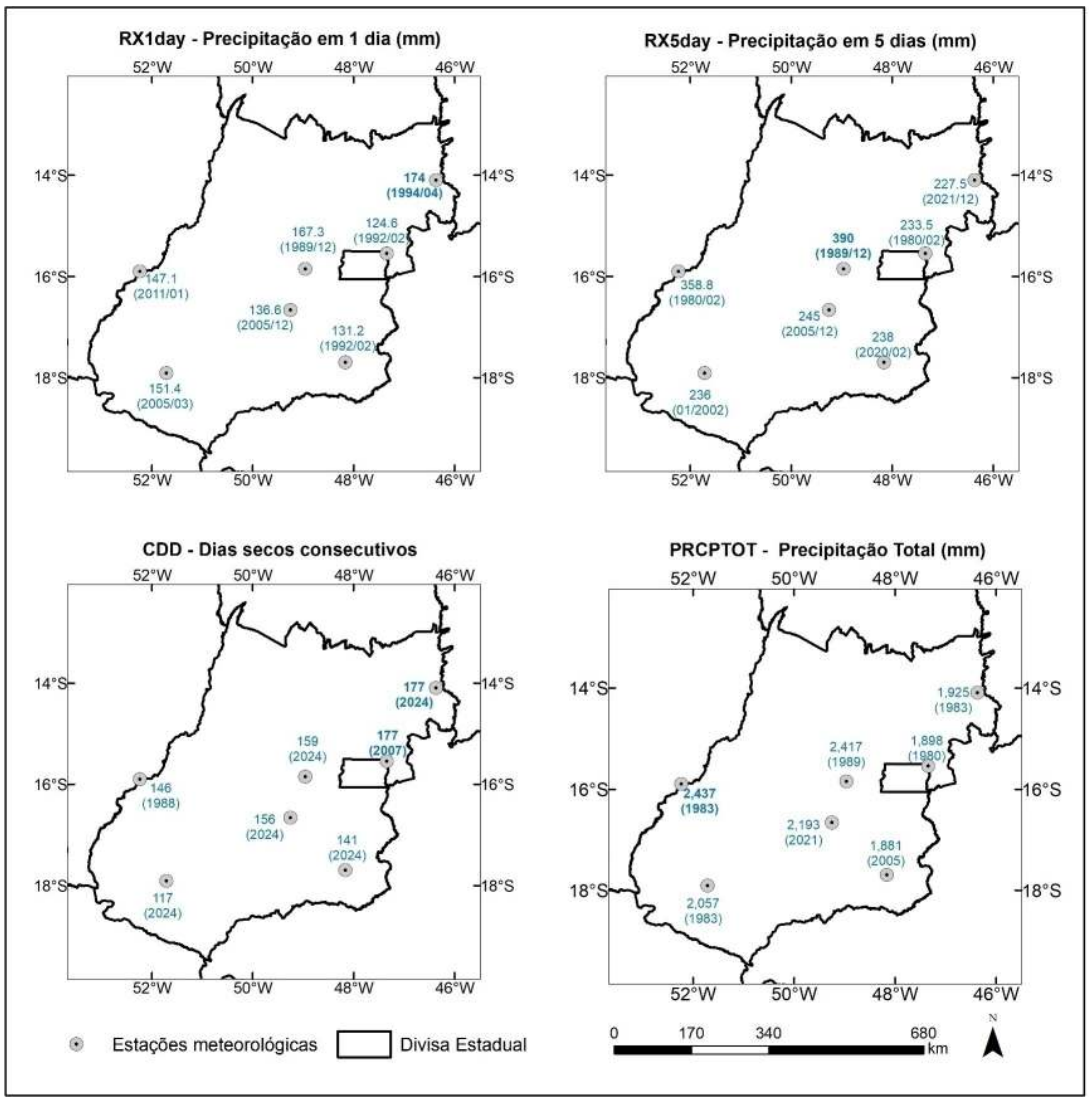

Figura 3 – Variação espacial de eventos extremos de 1980 a 2024 para alguns índices associados à precipitação (RX1day, RX5day, CDD e PRCPTOT). Fonte: autores, com base em dados do INMET processados no RClimDEX.

Esses eventos de precipitação intensa têm causado inundações urbanas recorrentes, conforme destacado por Rego e Barros (2014) e Luiz e Romão (2019) no caso de Goiânia (Figura 4-A). Deus e Nascimento (2016) também documentaram os impactos das chuvas extremas em cidades menores, como Pirenópolis (Figura 4-B), um destino turístico em Goiás.

Figura 4 – Inundações registradas nas cidades de Goiânia (A) e Pirenópolis (B) após eventos de chuvas extremas. Fonte: (A): https://opopular.com.br/cidades/chuva-forte-causa-estragos-em-goiania-veja-fotos-e-video-1.3125219 e (B): https://opopular.com.br/cidades/defesa-civil-de-pirenopolis-alerta-para-risco-de-desabamentos-e-recomenda-fechamento-de-cachoeiras-1.2384903

A ocorrência de eventos de precipitação extrema na área de estudo está frequentemente associada ao comportamento e à intensidade de sistemas atmosféricos, como a Zona de Convergência do Atlântico Sul e a massa equatorial continental, influenciados por teleconexões atmosféricas como o Fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e a Oscilação Decadal do Pacífico (PDO) (Nascimento, Lima e Cruz, 2019; Silva e Carpenedo, 2021; Alves, Cabral e Nascimento, 2022).

O valor máximo anual de dias secos consecutivos (CDD) atingiu 177 dias em Posse e Formosa, seguido por 159 dias em Pirenópolis e 156 dias em Goiânia. Esses períodos prolongados de seca, com duração de até cinco ou seis meses, afetam gravemente a segurança hídrica, alimentar e energética (Hoff, 2011; Mariani et al., 2016). Os registros de precipitação anual (PRCPTOT) incluíram 2.437 mm em Aragarças (1983), 2.417 mm em Pirenópolis (1989) e 2.193 mm em Goiânia (2021).

A região nordeste de Goiás, onde Posse e Formosa estão localizadas, historicamente recebe menor precipitação devido a barreiras topográficas que impedem a entrada de sistemas atmosféricos geradores de chuva (NASCIMENTO, 2016; NEVES, 2019). Em contrapartida, Aragarças, Pirenópolis e Goiânia estão situadas em áreas menos afetadas por tais barreiras.

A estação seca na área de estudo é influenciada principalmente pelo predomínio da Massa Tropical Atlântica durante o outono e o inverno, o que traz altas temperaturas, estabilidade atmosférica e ausência de precipitação (SERRA; RATISBONA, 1942; MONTEIRO, 1951). No entanto, em anos particularmente secos, é comum a ausência de chuvas por três ou mais meses consecutivos, muitas vezes agravada por teleconexões atmosféricas como o ENOS e o PDO (NASCIMENTO; COSTA, 2020; ALVES, CABRAL, NASCIMENTO, 2022).

Os resultados deste estudo estão alinhados com a literatura científica mais ampla e com as projeções do IPCC, indicando um clima mais quente e seco para a área de estudo, com aumento da

intensidade e recorrência de eventos extremos de temperatura e precipitação. Essas descobertas ressaltam a necessidade urgente de estratégias de adaptação para mitigar os impactos das mudanças climáticas na agricultura, nos recursos hídricos e na saúde pública no estado de Goiás.

CONCLUSÃO

A aplicação de índices climáticos revelou-se altamente eficaz na identificação de tendências em variáveis meteorológicas em estações meteorológicas selecionadas no estado de Goiás. A análise revelou um padrão claro e estatisticamente significativo de aumento das temperaturas, conforme evidenciado pelas tendências positivas nas temperaturas máximas e mínimas mais altas e mais baixas (TXx, TXn, TNx e TNn) e na amplitude térmica diária (DTR). Essas descobertas estão alinhadas com observações globais de aumento das temperaturas e ressaltam a intensificação das tendências de aquecimento na região.

Em contrapartida, os índices relacionados à precipitação exibiram predominantemente tendências negativas, particularmente no número de dias com chuvas fortes (R10mm), intensas (R20mm) e muito intensas (R40mm), dias consecutivos de chuva (CWD) e precipitação anual total (PRCPTOT). Embora as tendências para PRCPTOT, CWD e R40mm tenham sido estatisticamente significativas, outros índices mostraram significância boa, mas não elevada. Isso sugere uma mudança em direção a condições mais secas, embora com variabilidade na área de estudo.

O estudo também destacou eventos climáticos extremos registrados ao longo do período de 45 anos (1980–2024), incluindo: uma temperatura máxima de 44,3 °C em Aragarças (2020); uma temperatura mínima de -1,0 °C em Jataí (1988); uma precipitação máxima diária de 174 mm em Posse (1999), um recorde de 177 dias consecutivos sem chuva em Posse e Formosa, e uma precipitação anual total de 2.437,9 mm em Aragarças (1983).

Esses resultados são consistentes com o Sexto Relatório de Avaliação (AR6) do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021), que enfatiza o aquecimento global sem precedentes e o aumento da frequência e intensidade de eventos climáticos extremos. Para a Região Centro-Oeste do Brasil, o IPCC projeta novos aumentos de temperatura e possíveis alterações nos padrões de precipitação, embora estes últimos não apresentem significância estatística consistente neste estudo.

Embora este estudo ofereça insights valiosos sobre as tendências climáticas e os eventos extremos em Goiás, são necessárias mais pesquisas para aprofundar nossa compreensão desses fenômenos. Estudos futuros deveriam: a) realizar análises mais detalhadas de índices específicos para identificar tendências e impactos localizados; b) investigar as repercussões socioeconômicas e ambientais do aumento das temperaturas e das mudanças nos padrões de precipitação; e c) explorar o papel das teleconexões atmosféricas, como o ENOS e o PDO, na ocorrência de eventos extremos na região.

Por fim, os resultados deste estudo ressaltam a necessidade urgente de medidas proativas para lidar com os impactos das mudanças climáticas em Goiás. Ao integrar o conhecimento científico com estratégias práticas de adaptação e mitigação, o estado pode aumentar sua resiliência à variabilidade climática e garantir o desenvolvimento sustentável para as gerações futuras.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação para o Aperfeiçoamento do Pessoal de Ensino Superior (CAPES), pela concessão de uma bolsa de mestrado ao primeiro autor, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de uma bolsa de produtividade científica e pelo apoio financeiro no âmbito da Chamada Pública MCTI/CNPq nº 14/2023 ao segundo autor. Os autores também gostariam de agradecer à Pró-Reitoria de Extensão e Cultura da Universidade Federal de Goiás pelo apoio financeiro para serviços de tradução e revisão.

DISPONIBILIDADE DE DADOS

Não aplicável.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, Alberto. O bem viver: uma oportunidade para imaginar outros mundos. Tradução de Tadeu Breda. São Paulo: Autonomia Literária, Elefante, 2016.

ACSELRAD, Henri. Justiça ambiental e construção social do risco. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, n. 5, jan./jun. 2002.

ADAMI, Rose Maria. Rio Criciúma: o rio que a cidade escondeu – significados e representações na paisagem. Criciúma: UNESC, 2015.

ALEXANDRE, Nadja Zim. Diagnóstico Ambiental da Região Carbonífera de Santa Catarina: degradação dos recursos naturais. Revista Tecnologia e Ambiente, Criciúma, v. 5, n. 2, jul./dez. 1999.

ALIMONDA, Héctor. Descolonizar la naturaleza: por una ecología política latinoamericana. Textos reunidos de Héctor Alimonda 1982-2017. Compilación de Facundo Martín, Gabriela Merlinsky y Felipe Milanez. Prólogo a cargo de Facundo Martín, Gabriela Merlinsky y Felipe Milanez. 1ª ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: CLACSO, 2025.

AMORIM, Celeste Dias; CESTARI, Luis Artur de Santos. A cartografia e a racionalidade ambiental: em busca da superação da racionalidade instrumental. Práxis Educacional, Vitória da Conquista, v. 17, n. 48, 2021. DOI: 10.22481/praxisedu.v17i48.9168.

ARÁOZ, Horacio Machado. El extractivismo y las raíces del "Antropoceno". Regímenes de sensibilidad, régimen climático y derechos de la Naturaleza. Direito e Práxis, Rio de Janeiro, v. 14, n. 01, 2023.

ASSUNÇÃO, Viviane Kraieski de et al. O sofrimento social nas narrativas de sujeitos afetados pela mineração de carvão no sul do estado de Santa Catarina. In: MENEZES, Carlyle Torres Bezerra de et al. (Orgs.). Impactos do carvão mineral nas pessoas e na natureza. Criciúma: EdiUnesc, 2024.

BOURRIAUD, Nicolas. Estética Relacional. São Paulo: Martins Fontes, 2009a.

BOURRIAUD, Nicolas. Formas de vida: a arte moderna e a invenção de si. São Paulo: Martins Fontes, 2011.

BOURRIAUD, Nicolas. Pós-produção: como a arte reprograma o mundo contemporâneo. São Paulo: Martins Fontes, 2009b.

BRASIL. Decreto nº 20.089, de 9 de junho de 1931. Autoriza a Cia de Navegação Lloyd Brasileiro e a Estrada de Ferro Central do Brasil a contratarem, em nome do Governo, com as companhias nacionais de mineração de carvão, por preço e prazo que combinarem, toda a produção de carvão nacional disponível. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/decret/1930-1939/decreto-20089-9-junho-1931-519084-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 14 jan. 2026.

BRASIL. Decreto-Lei nº 2.667, de 3 de outubro de 1940. Autoriza o fomento às empresas nacionais de mineração de carvão pelo Governo da União e autoriza obras e instalações necessárias para facilitar e baratear o transporte do carvão nacional. Diário Oficial da União, Rio de Janeiro. Disponível em: https://www2.camara.leg.br/legin/fed/declei/1940-1949/decreto-lei-2667-3-outubro-1940-412620-publicacaooriginal-1-pe.html. Acesso em: 14 jan. 2026.

CAROLA, Carlos Renato. Progresso, tecnologia e insensibilidade ambiental socioambiental: a extração do carvão na primeira metade do século XX (1880-1950). In: CAROLA, Carlos Renato (Org.). Memória e cultura do carvão em Santa Catarina: impactos sociais e ambientais. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2010.

CAROLA, Carlos Renato; DASSI, Nilso. Era uma vez o rio Mãe Luzia… Criciúma: EDIUNESC, 2014.

COSTA, Luciano Bedin da. Cartografia: uma outra forma de pesquisar. Revista Digital do Laboratório de Artes Visuais, Santa Maria, v. 7, n. 2., 2014.

DELEUZE, Gilles; GUATTARI, Félix. Mil platôs: capitalismo e esquizofrenia. V. 1. Tradução de Aurélio Guerra Neto e Célia Pinto Costa. Rio de Janeiro: Editora 34, 1995.

ENGEPLUS. Prefeitura esclarece retirada de placas da praça. Criciúma, 2 dez. 2015. Disponível em: https://engeplus.com.br/noticia/cultura/2015/prefeitura-esclarece-retirada-de-placas-da-praca. Acesso em: 19 jan. 2026.

HARAWAY, Donna. Antropoceno, Capitaloceno, Plantationoceno, Chthuluceno: fazendo parentes. Tradução de Susana Dias, Mara Verônica e Ana Godoy. ClimaCom, Campinas, ano 3, n. 5, 2016.

HARAWAY, Donna. Ficar com o problema: fazer parentes no Chthuluceno. São Paulo: n-1, 2023.

JUNG, Leandro. Meios. Mutatis Mutandis: quando a arte se propõe a pensar o que tem de ser mudado [Fotografia]. Criciúma, 2025.

KOTHARI, Ashish et al. Pluriverse: A Post-Development Dictionary. Nova Delhi: Tulika Books, 2019.

KROGH, Katrine; JENSEN, Ole B.; FRANDSEN, Anne Kathrine; HANSEN, Majken Kirkegaard. Framing artistic practices through new materialism to ensure multispecies futuring in the built environment. Futures, Amsterdam, v. 166, n. 2, 2025.

LOPES, Rosana Peporine; SANTO, Eder Luiz; GALATTO, Sérgio Luciano. Mineração de carvão em Santa Catarina: geologia, geoquímica e impactos ambientais. In: MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETTE, Vanilde (Coord.). Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no sul de Santa Catarina: uma abordagem interdisciplinar. Curitiba: Juruá, 2009.

MENEZES, Carlyle Torres Bezerra de et al. Transição energética justa, ecológica e inclusiva e a reconversão socioambiental da região carbonífera sul catarinense. In: MENEZES, Carlyle Torres Bezerra de et al. (Orgs.). Impactos do carvão mineral nas pessoas e na natureza. Criciúma: EdiUnesc, 2024a.

MENEZES, Carlyle Torres Bezerra de; GONÇALVES, Elizabeth Marley Brusch; VIEIRA, Simoni Daminelli; MARTINELLO, Eduardo Fernandes. A revitalização de rios urbanos e a governança das águas: possibilidades e desafios na região sul de Santa Catarina, Brasil. In: SELVA, Vanice Santiago F. et al. (Orgs.). Água, gestão, territórios e sustentabilidade. 1. ed. Ananindeua: Itacaiúnas, 2024b.

PASSOS, Eduardo; KASTRUP, Virginia; ESCÓSSIA, Liliana (Orgs.). Psicologia Social: a cartografia como método de pesquisa. Petrópolis: Vozes, 2009.

PACHECO, Adilson. "Daniele Zacarão - é interessante sua proposta. Ela também provoca dupla interpretação - a inércia das autoridades e ao mesmo tempo chama atenção da população. Infelizmente a região de Criciúma como toda região carbonífera pagou e paga um alto preço pelo desenvilvimento sem planejamento e degradação ambiental…" [Comentário em: 3ª SOU]. In: LABORATIVO. 3ª SOU - Rio Criciúma: instruções para escuta por Daniele Zacarão. Facebook, 30 nov. 2015. Disponível em: https://encurtador.com.br/gvib. Acesso em: 8 mai. 2026.

PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. Da geografia às geo-grafias: um mundo em busca de novas territorialidades. In: CECEÑA, Ana Esther; SADER, Emir. (Orgs.). La Guerra Infinita: hegemonía y terror mundial. Buenos Aires: CLACSO, 2002.

RANCIÈRE, Jacques. A partilha do sensível. 2ª ed. São Paulo: Ed. 34, 2009.

RANCIÈRE, Jacques. O espectador emancipado. São Paulo: Editora WMF Martins Fontes, 2012.

SACHET, Celestino. Quem é Celestino Sachet? (Biografia Sentimental). Yumpu Publicações, s/d. Disponível em: https://www.yumpu.com/pt/umdedodeprosa.cce.ufsc.br. Acesso em: 27 jan. 2026.

SOUZA, Marcelo Lopes de. Ecologia-Mundo, Rapina Ambiental e Zona de Sacrifício: provocações a partir da (semi) periferia. In: MITIDIERO JÚNIOR, Marco Antônio et al. (Org.). A Geografia que fala ao Brasil, XIV Encontro Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia. Marília: Lutas Anticapital, 2021.

TSING, Anna. O cogumelo no fim do mundo: Sobre a possibilidade de vida nas ruínas do capitalismo. Tradução de Jorge Menna Barreto e Yudi Rafael. São Paulo: n-1 edições, 2022.

ZACARÃO, Daniele. Rio Criciúma: instruções para escuta. SOU – Semana de Ocupação Urbana, Laborativo, Criciúma, 2015.

Afiliação dos Autores

Silva, G.C. - Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO), Brasil
Nascimento, D.T.F. - Professor da Universidade Federal de Goiás, Goiânia (GO), Brasil

Contribuição dos Autores

Silva, G.C. - O autor contribuiu para a elaboração, a realização e o tratamento dos dados, bem como para a redação do texto.
Nascimento, D.T.F. - O autor contribuiu para a elaboração, a realização e o tratamento dos dados, bem como para a redação do texto.

Editores Responsáveis

Gabriela Goudard
Antonio Ferreira Lima Júnior