Revista Brasileira de Climatologia
Brazilian Journal of Climatology
OPEN ACCESS

PADRÕES CLIMÁTICOS DOS EXTREMOS CHUVOSOS EM UBERLÂNDIA - MG

Climate patterns of rainy extremes in Uberlândia - MG

Patrones climáticos de los extremos lluviosos en Uberlândia - MG

Camila Bertoletti Carpenedo
Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná (UFPR)
camila.carpenedo@ufpr.br

Mírian de Paula Lima
Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia (UFU)
mirian_udi96@hotmail.com

Resumo: Minas Gerais é o estado com maior frequência anual de desastres naturais hidrológicos da Região Sudeste do Brasil, com destaque para o verão, justamente por ser o período mais chuvoso do ano. Assim, o objetivo deste estudo é investigar os padrões climáticos relacionados aos extremos chuvosos em Uberlândia - MG durante o verão (1980-2015), visto que este é o 2° município mais populoso do estado e o 12° mais populoso do Brasil dentre os municípios com mais de 500 mil habitantes, exceto as capitais . Os resultados mostram que os extremos chuvosos (percentil de 90%) em Uberlândia são relacionados principalmente à Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e aos eventos de El Niño. Em dezembro domina eventos de El Niño e aquecimento do Pacífico equatorial (regiões do Niño 3 e Niño 4). Além disso, a intensificação do jato de baixos níveis da América do Sul entre a Amazônia e Minas Gerais, devido ao fortalecimento da Alta Subtropical do Atlântico Norte, favorece um aumento da convecção anômala. Em janeiro predomina eventos de El Niño, uma circulação ciclônica em 850 hPa entre São Paulo e Minas Gerais e atuação de ZCAS oceânica. Em fevereiro domina eventos de El Niño-Pacífico Central, cavado em níveis médios/ circulação ciclônica em 850 hPa sobre o centro-sul do país, com aumento da convecção da ZCAS.

Palavras-chave: ZCAS. ENOS. Precipitação pluvial. Minas Gerais.

Abstract: Minas Gerais is the state with the highest annual frequency of hydrological natural disasters in the Southeast Region of Brazil, especially in the summer, precisely because it is the wettest period of the year. Thus, the objective of this study is to investigate the climate patterns related to rainy extremes in Uberlândia - MG during the summer (1980-2015), since this is the 2nd most populous

municipality in the state and the 12th most populous in Brazil among the municipalities with more than 500 thousand inhabitants, except the capitals. The results show that the rainy extremes (90% percentile) in Uberlândia are mainly related to the South Atlantic Convergence Zone (SACZ) and the El Niño events. In December, El Niño events and equatorial Pacific warming (Niño 3 and Niño 4 regions) dominate. In addition, the intensification of the South America low-level jet between the Amazon and Minas Gerais, due to the strengthening of the North Atlantic Subtropical High, favors an increase in anomalous convection. In January, El Niño events predominate, as well as a cyclonic circulation at 850-hPa between São Paulo and Minas Gerais, and oceanic SACZ action. In February, Central Pacific-El Niño events dominate, as well as a trough at medium levels/ cyclonic circulation at 850-hPa over the central-south part of the country, with increased convection in the SACZ.

Keywords: SACZ. ENSO. Precipitation. Minas Gerais.

Resumen: Minas Gerais es el estado con mayor frecuencia anual de desastres naturales hidrológicos en la Región Sudeste de Brasil, especialmente en el verano, precisamente por ser el período más lluvioso del año. Así, el objetivo de este estudio es investigar los patrones climáticos relacionados con extremos lluviosos en Uberlândia - MG durante el verano (1980-2015), ya que este es el 2° municipio más poblado del estado y el 12° más poblado de Brasil entre los municipios con más de 500 mil habitantes, excepto las capitales. Los resultados muestran que los extremos lluviosos (percentil 90%) en Uberlândia se relacionan principalmente con la Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) y con eventos de El Niño. En diciembre dominan los eventos de El Niño y el calentamiento del Pacífico ecuatorial (regiones Niño 3 y Niño 4). Además, la intensificación del chorro de bajo nivel de América del Sur entre el Amazonas y Minas Gerais, debido al fortalecimiento de la Alta Subtropical del Atlántico Norte, favorece un aumento de la convección anómala. En enero predominan los eventos de El Niño, circulación ciclónica a 850 hPa entre São Paulo y Minas Gerais y acción de la ZCAS oceánica. En febrero predominan los eventos El Niño-Pacífico Central, valles en niveles medios/ circulación ciclónica a 850 hPa sobre la zona centro-sur del país, con aumento de la convección de la ZCAS.

Palabras clave: ZCAS. ENOS. Precipitación. Minas Gerais.

Submetido em: 03/02/2022
Aceito para publicação em: 12/09/2022
Publicado em: 25/10/2022

1. INTRODUÇÃO

Os extremos climáticos estão mais frequentes e/ou intensos nas últimas décadas devido ao aumento nas concentrações de gases de efeito estufa de origem antropogênica (SENEVIRATNE et al., 2021). O crescimento populacional e o consequente aumento na demanda por recursos naturais, somado à ocupação irregular do solo urbano e ao intenso processo de urbanização, resultaram no aumento da vulnerabilidade dos sistemas ecológicos e humanos aos impactos relacionados aos extremos climáticos (KOBIYAMA et al., 2006; PBMC, 2016).

No Brasil a maior concentração populacional está na Região Sudeste, com 42% da população residente (IBGE, 2022b) e com mais de 93% das pessoas vivendo em áreas urbanas (PNAD, 2016). Estas áreas são vulneráveis a desastres naturais, especialmente os hidrológicos (*e.g.*, inundações, alagamentos, enxurradas), devido à impermeabilização do solo, ocupação desordenada, retirada de mata ciliar, assoreamento dos rios, dentre outros (KOBIYAMA et al., 2006; PBMC, 2016). Dentre os estados da Região Sudeste, Minas Gerais é o que apresenta a maior frequência anual de desastres naturais hidrológicos associados à inundação, alagamento e enxurrada, com 52,7% do total observado, sendo o verão a estação com maior frequência de desastres no estado, com 78,2% do total anual (S2ID, 2022), justamente por ser o período mais chuvoso do ano. Tal fato é observado, pois Minas Gerais é o estado da Região Sudeste com os maiores limiares médios diários de extremos chuvosos (até 40 mm/dia) e com os maiores valores de precipitação pluvial máxima diária (até 70 mm/dia) (ZILLI et al., 2017).

Os extremos climáticos hidrológicos em Minas Gerais estão associados com a atuação de sistemas atmosféricos - *e.g.*, Zona de Convergência do Atlântico Sul - ZCAS, frentes frias, jato de baixos níveis da América do Sul (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; LIMA; SATYAMURTY; FERNANDEZ, 2010; MONTINI; JONES; CARVALHO, 2019; AGUIAR; CATALDI, 2021), aos modos de variabilidade climática - *e.g.*, El Niño-Oscilação Sul, Modo Anular Sul, Oscilação de Madden-Julian, Dipolo do Atlântico Sul (GRIMM; TEDESCHI, 2009; MUZA et al., 2009; VASCONCELLOS; CAVALCANTI, 2010; GRIMM, 2011; HIRATA; GRIMM, 2016) e às mudanças climáticas (DALAGNOL et al., 2021).

Estudos que investigam as forçantes relacionadas à ocorrência de extremos climáticos hidrológicos são de fundamental importância para a sociedade, pois auxiliam no planejamento

de estratégias que previnem situações de risco para a sociedade e minimizem os custos socioeconômicos de mitigação e adaptação em relação aos desastres naturais decorrentes dos extremos. Dentro deste contexto, o foco no presente estudo é o município de Uberlândia, visto que este é o 2° município mais populoso do estado de Minas Gerais e o 12° mais populoso do Brasil dentre os municípios com mais de 500 mil habitantes, exceto as capitais (IBGE, 2022a). Assim, o objetivo deste estudo é investigar quais os padrões climáticos estão relacionados aos extremos chuvosos em Uberlândia durante o verão (dezembro a fevereiro), entre 1980 e 2015.

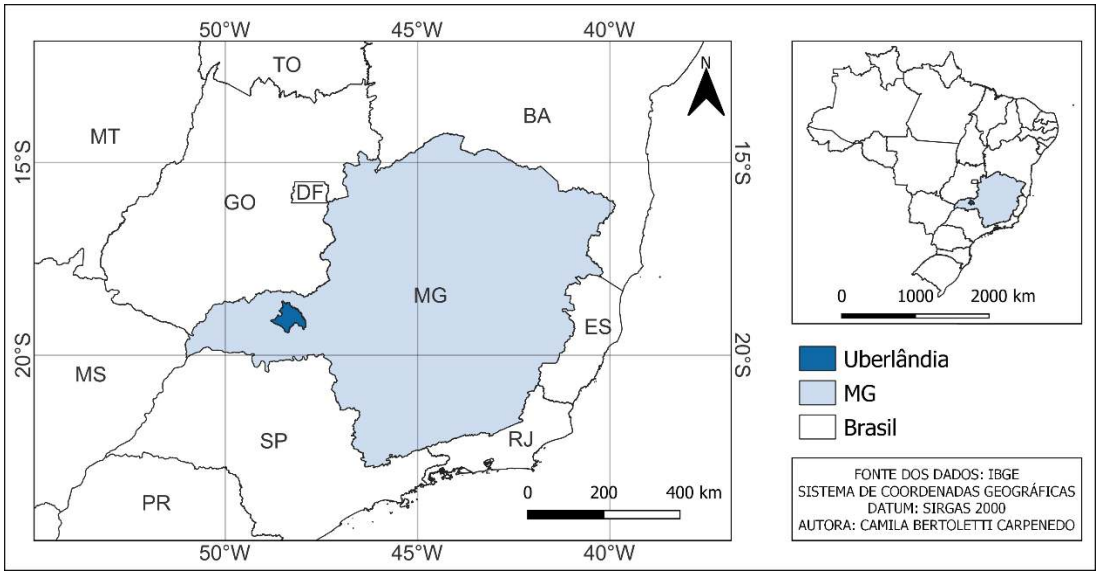
2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

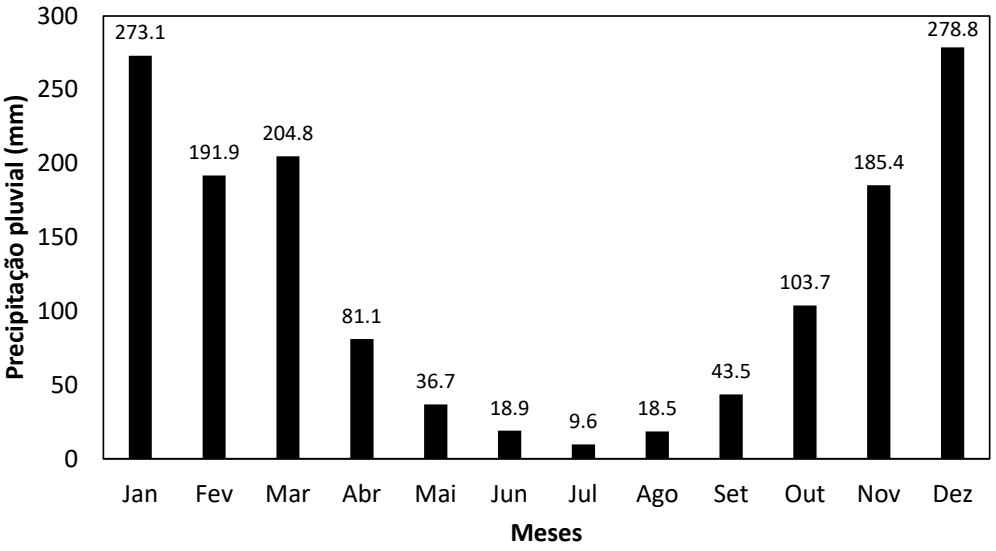
Uberlândia está localizada no estado de Minas Gerais (Figura 1a), na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, nas coordenadas 18°55’23’’ S e 48°17’19’’ W e na altitude de 867 m. A precipitação anual média é de 1.438,0 mm, sendo julho o mês mais seco (9,7 mm) e dezembro o mais chuvoso (278,8 mm) (Figura 1b). Portanto, o clima no município é caracterizado por inverno seco (junho-julho-agosto: 47,0 mm) e verão chuvoso (dezembro-janeiro-fevereiro: 743,8 mm), regido pelo Sistema de Monção da América do Sul (RAO; CAVALCANTI; HADA, 1996; KOUSKY; ROPELEWSKI, 1997; GAN; KOUSKY; ROPELEWSKI, 2004).

Figura 1 – (a) Localização do município de Uberlândia em Minas Gerais e (b) respectiva média mensal da precipitação pluvial entre 1980 e 2015.

(a)



(b)



Fonte: (a) Elaborado pelos autores (2022); (b) Xavier, King e Scanlon (2017); elaborado pelos autores (2022).

2.2. Dados

Todas as séries temporais utilizadas neste estudo são mensais, compreendendo o período de 1980 a 2015. Os campos atmosféricos foram obtidos do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF) *reanálises v5* (ERA5), com espaçamento horizontal de 0,25° de latitude x 0,25° de longitude (HERSBACH et al., 2020). As seguintes variáveis meteorológicas foram utilizadas: temperatura do ar a 2 m (°C), vento em 850 hPa

(m/s), altura geopotencial em 500 hPa (m) e divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg $m^{-2}s^1$).

Utilizamos a temperatura da superfície do mar (TSM; °C) da versão *Extended Reconstructed Sea Surface Temperature* (ERSST) *version 5* (HUANG et al., 2017), derivada do *International Comprehensive Ocean–Atmosphere Dataset* (ICOADS), com espaçamento horizontal de 2° de latitude x 2° longitude.

A radiação de onda longa emergente (W/m²) foi obtida do *National Oceanic and Atmospheric Administration/Earth System Research Laboratory* (NOAA/ESRL), com espaçamento horizontal de 2,5° de latitude x 2,5° de longitude (LIEBMANN; SMITH, 1996).

A precipitação pluvial foi obtida de Xavier, King e Scanlon (2017), os quais utilizam dados observados de pluviômetros e de estações meteorológicas convencionais e automáticas do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE-SP) e Superintendência do desenvolvimento do Nordeste (SUDENE). Os dados são interpolados pelo método de interpolação *Angular Distance Weighting* (ADW), em uma grade regular de 0,25° de latitude X 0,25° de longitude (XAVIER; KING; SCANLON, 2016).

A relação entre os extremos chuvosos em Uberlândia e os padrões climáticos de grande escala foi avaliada através do uso dos seguintes índices climáticos (Quadro 1): Índice de Niño Oceânico (*Oceanic Niño Index* - ONI), anomalia de TSM nas regiões do Niño 1+2, Niño 3 e Niño 4, El Niño-Pacífico Central (ENPC) e Leste (ENPE), Índice SAM (*Southern Annular Mode*) e Índice do Dipolo do Atlântico Sul (*South Atlantic Subtropical Dipole Index* - SASDI).

Quadro 1 – Índices climáticos e respectivas fontes e sites com séries temporais e metodologia.

Índice	Fonte	Site
ONI	CPC/NOAA	https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php
Niño 1+2	CPC/NOAA	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina1.anom.data
Niño 3	CPC/NOAA	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina3.anom.data
Niño 4	CPC/NOAA	https://psl.noaa.gov/data/correlation/nina4.anom.data
ENPC	Cai et al. (2020)	https://www.nature.com/articles/s43017-020-0040-3
ENPE	Cai et al. (2020)	https://www.nature.com/articles/s43017-020-0040-3
SAM	CPC/NOAA	https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_ao_index/aao/aao.shtml#publication
SAODI	Nnamchi, Li e Anyadike (2011); Nnamchi e Li (2011)	http://ljp.gcess.cn/dct/page/65592

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

2.3. Determinação dos extremos chuvosos

Para determinar os extremos chuvosos utilizamos o método dos percentis. O primeiro passo para calcular os percentis é organizar os dados em ordem crescente e, em seguida, indexá-los, permitindo obter a quantidade e a posição dos percentis desejados. A partir deste índice, indicado entre parênteses {x(1), x(2), x(3), ..., x(n)} (WILKS, 2006), calcula-se a posição do percentil desejado (N_{ordem}):

$$N_{ordem} = \frac{perc\ .\ (n + 1)}{100} \quad (1)$$

onde *perc* é o percentil desejado (%) e *n* o número total de dados da série temporal ordenada. Se N_{ordem} não for um valor inteiro, o mesmo é aproximado para o inteiro superior mais próximo (WILKS, 2006).

Neste estudo, os extremos chuvosos foram definidos através do percentil de 90%, obtidos separadamente para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro entre 1980 e 2015. Assim, valores de precipitação pluvial iguais ou superiores ao percentil de 90% são definidos como meses com extremos chuvosos em Uberlândia.

2.4. Composição dos campos atmosféricos

Além do uso dos índices climáticos (*cf.* seção 2.2), para identificar os padrões atmosféricos médios associados aos extremos chuvosos em Uberlândia, utilizamos a técnica de composições. Este método consiste em formar um conjunto de ψ de índices (variáveis

meteorológicas referentes ao fenômeno a ser estudado) e estimar o valor de *V* (composição) condicional em $z \in \psi$ (VAN STORCH; ZWIERS, 2003):

$$V_{\psi} = \frac{1}{k}\sum_{j=1}^{k} v_{t_j} \quad (2)$$

onde *v* é a variável meteorológica a ser analisada, t_1, t_2, ..., t_k são os tempos das observações e *k* é o número de observações. Nas composições das anomalias dos campos atmosféricos para as datas (mês/ano) dos extremos chuvosos em Uberlândia, aplicamos a Equação 2, em que V_{ψ} são as anomalias nos meses com extremos chuvosos em relação à normal climatológica de 1981 a 2010. A significância estatística de V_{ψ} foi calculada através do teste *t-Student*, ao nível de significância de 10% (WILKS, 2006).

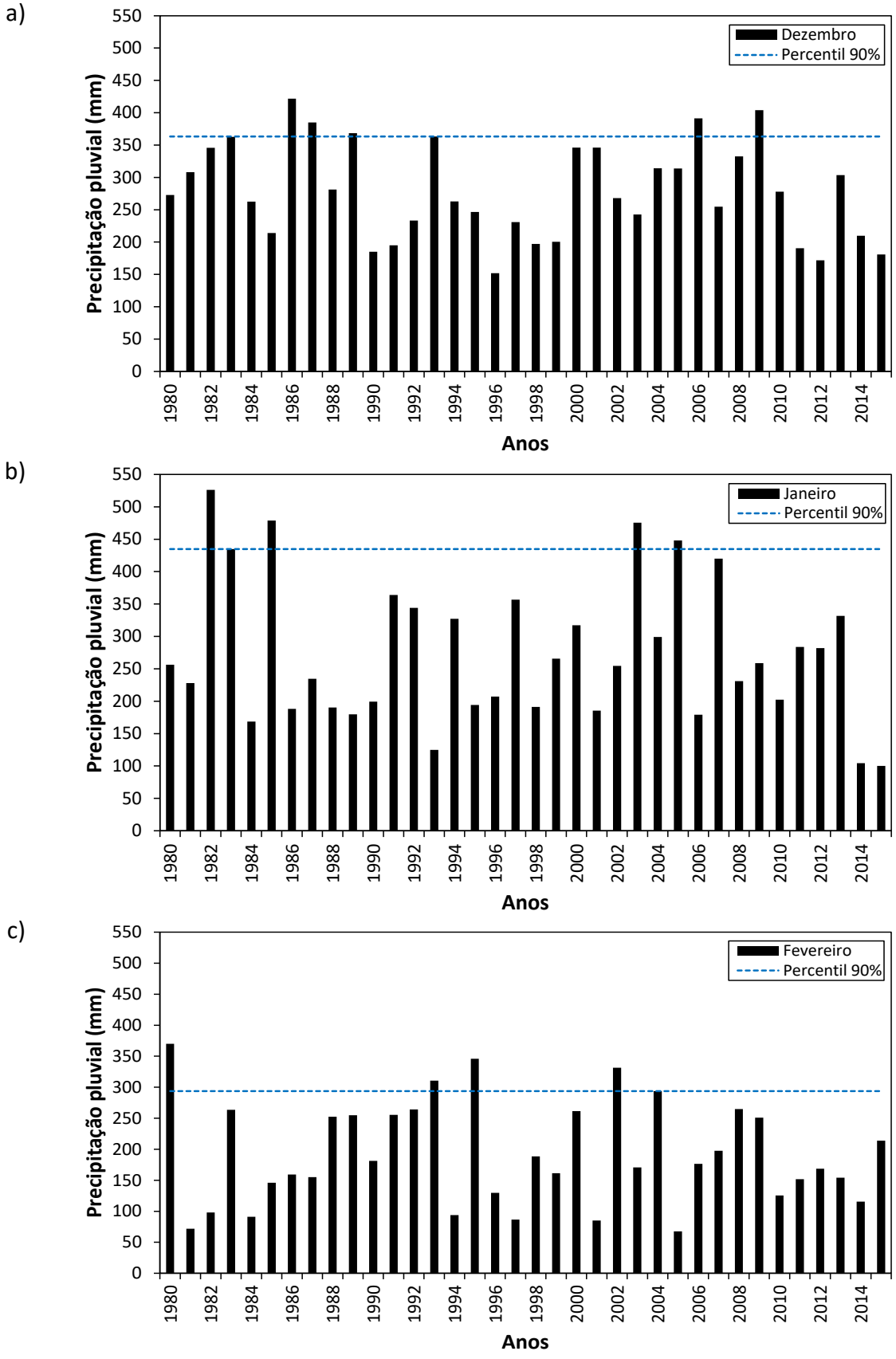
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Extremos chuvosos em Uberlândia

A Figura 2 apresenta a precipitação pluvial mensal em Uberlândia nos meses de verão, bem como os anos com extremos chuvosos definidos pelo percentil de 90%. O mês de janeiro é o que apresenta a maior variabilidade da precipitação pluvial entre 1980 e 2015 (Figura 2b), assim como o maior limiar do percentil de 90% (434,8 mm), indicando extremos com maiores acumulados de precipitação pluvial em relação aos demais meses de verão. Por outro lado, o mês de fevereiro (Figura 2c) é o que apresenta o menor limiar do percentil de 90% (293,9 mm), o que demonstra extremos chuvosos mais brandos.

Em relação aos anos de ocorrência dos extremos chuvosos, 47% ocorreram na década de 1980, 40% nos anos 2000, 13% na década de 1990 e nenhum evento entre 2010 e 2015. Portanto, existe uma redução na frequência de extremos chuvosos em Uberlândia no verão, entre 1980 e 2015, o que está de acordo com estudos prévios (e.g., ZILLI et al., 2017; PETRUCCI, 2018).

Figura 2 – Precipitação pluvial em Uberlândia (barra preta) em (a) dezembro, (b) janeiro e (c) fevereiro, entre 1980 e 2015, e respectivos percentis de 90% (linha tracejada azul).



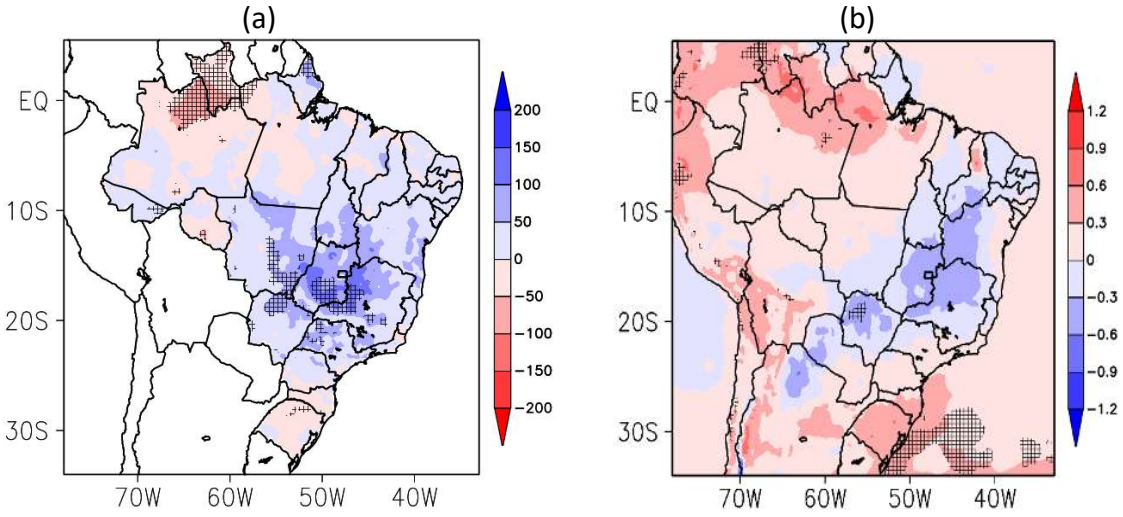
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3.2. Padrões climáticos em dezembro

Durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro, anomalias positivas de precipitação pluvial (Figura 3a) são observadas em parte da Região Sudeste (centro-sul de Minas Gerais e oeste de São Paulo) e Centro-Oeste (centro-sul de Goiás, sudeste e extremo noroeste do Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul), com desvios de até +150 mm, além do extremo leste do Acre e norte do Amapá. Por outro lado, anomalias negativas são observadas entre o norte do Amazonas, Amapá e noroeste do Pará, com desvios de até -75 mm, além de áreas esparsas no interior e sul do Amazonas, no sul de Rondônia e no norte do Rio Grande do Sul.

As anomalias positivas de precipitação pluvial estão associadas com uma maior cobertura de nuvens (veja a Figura 5c, em que as anomalias negativas de radiação de onda longa emergente indicam convecção anômala), o que resulta em menor incidência de radiação solar em superfície e anomalias negativas de temperatura do ar de até -0,6°C somente no noroeste do Mato Grosso do Sul (Figura 3b). Em Uberlândia não há redução da temperatura do ar com significância estatística durante os extremos chuvosos em dezembro.

Figura 3 - Composição das anomalias de (a) precipitação pluvial (mm) e (b) temperatura do ar a 2 m (°C) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro de 1986, 1987, 1989, 2006 e 2009. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



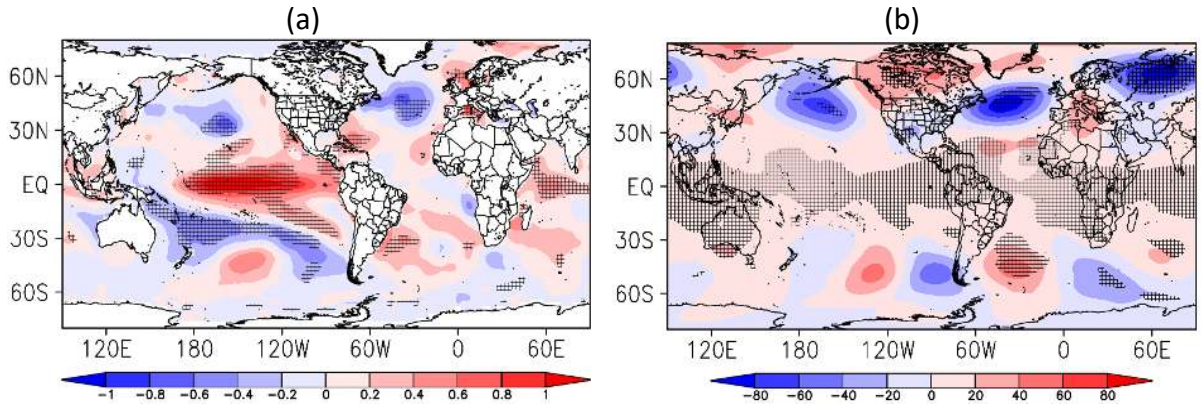
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Avaliando as anomalias globais de TSM (Figura 4a), podemos observar aquecimento anômalo no Pacífico equatorial, com anomalias superiores à +1°C. Predomina eventos de El

Niño (Índice ONI) e aquecimento superior à 1 desvio padrão nas regiões do Niño 3 e 4 (Tabela 1) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro. Anomalias positivas de TSM também são observadas no sudoeste do Atlântico Sul, próximo à costa da Região Sul e Sudeste do Brasil, as quais podem atuar como fonte de calor, favorecendo o estacionamento das frentes frias na costa destas Regiões (ITO, 1999).

Em relação à circulação atmosférica de grande escala (Figura 4b) é possível observar uma alta pressão anômala em grande parte da região equatorial do globo, além de um trem de ondas zonal nas latitudes médias entre o Pacífico Sul e o sul do continente africano. A alta pressão anômala no Atlântico Sudoeste, associada a este trem de ondas, favorece as anomalias positivas de TSM neste setor (Figura 4a) devido ao movimento descendente anômalo, que contribui para aquecimento por compressão adiabática e à maior incidência de radiação solar na superfície oceânica.

Figura 4 - Composição das anomalias de (a) temperatura da superfície do mar (°C) e (b) altura geopotencial em 500 hPa (m) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro de 1986, 1987, 1989, 2006 e 2009. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

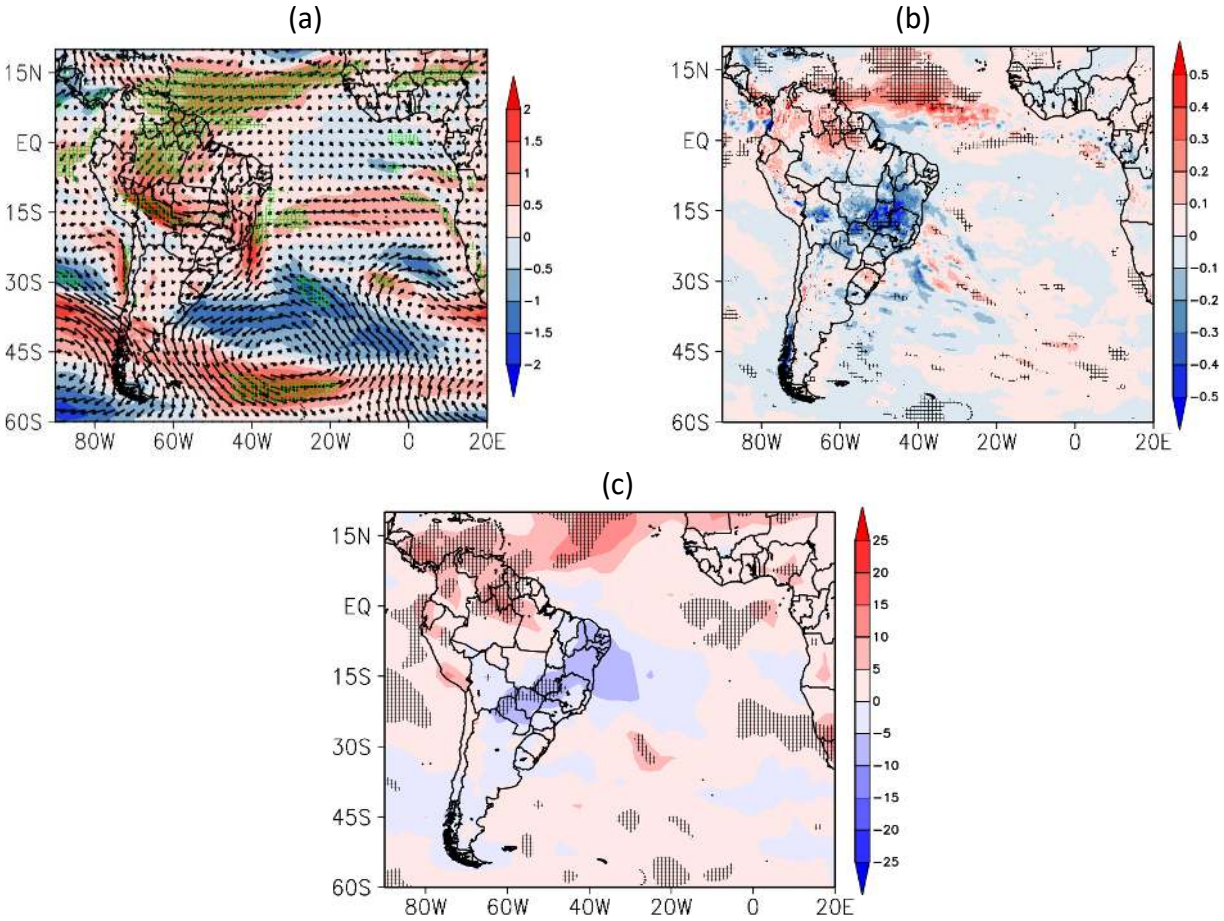
Tabela 1 – Índice ONI, anomalias de TSM na região do Niño 1+2, Niño 3, Niño 4, El Niño-Pacífico Central (ENPC), El Niño-Pacífico Leste (ENPE), Índice SAM e Índice SAODI durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro de 1986, 1987, 1989, 2006 e 2009. Valores em vermelho (azul) indicam índices iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a +1 (-1) desvio padrão.

Ano	ONI	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	ENPC	ENPE	SAM	SAODI
1986	1,20	0,60	0,92	0,32	não	não	0,89	-0,38
1987	1,10	0,67	1,00	0,76	sim	não	0,27	-0,05
1989	-0,10	-0,40	-0,38	-0,12	não	não	-0,45	-0,72
2006	0,90	0,71	1,14	0,92	não	não	0,64	0,11
2009	1,60	0,60	1,33	1,18	sim	não	0,61	0,11

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

A crista anômala observada em níveis médios no Atlântico Norte tropical (Figura 4b) pode contribuir para o fortalecimento da Alta Subtropical do Atlântico Norte, resultando em intensificação dos ventos alísios de nordeste (Figura 5a), bem como em enfraquecimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), com divergência (diminuição da umidade integrada na vertical; Figura 5b) e supressão de convecção (Figura 5c) anômalas no extremo norte do Brasil. Com o fortalecimento dos ventos alísios de nordeste, existe uma intensificação da circulação em 850 hPa entre a Amazônia e o estado de Minas Gerais, o que pode indicar um fortalecimento do jato de baixos níveis da América do Sul nesta região. Desta forma, entre o sul do Mato Grosso, norte do Mato Grosso do Sul, sul de Goiás e oeste de Minas Gerais há convergência (aumento da umidade integrada na vertical) e convecção anômalas durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro.

Figura 5 - Composição das anomalias de (a) vento em 850 hPa (m/s), (b) divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg $m^{-2}s^1$) e (c) radiação de onda longa emergente (W/m^2) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de dezembro de 1986, 1987, 1989, 2006 e 2009. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



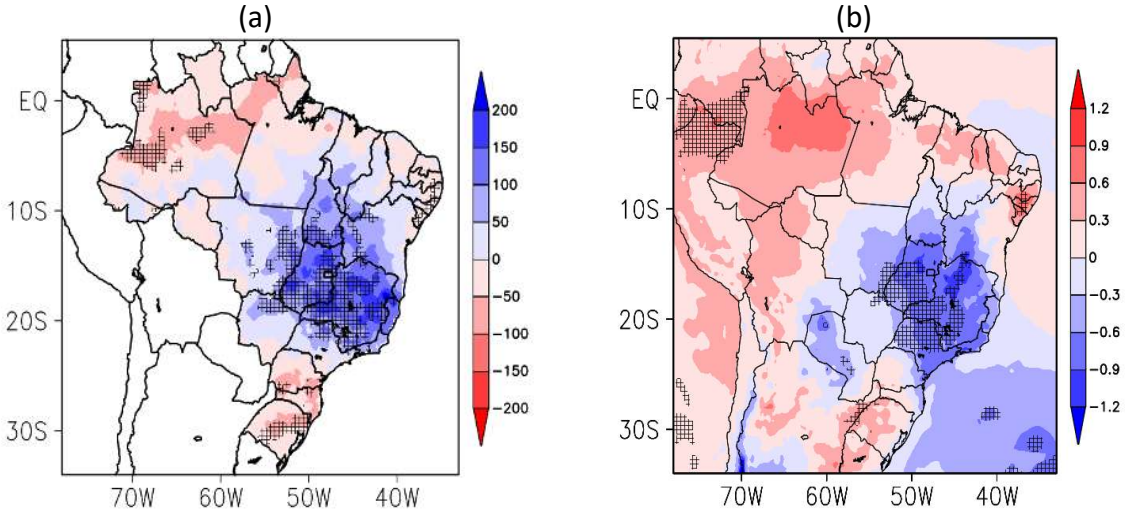
Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3.3. Padrões climáticos em janeiro

Durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro há anomalias positivas de precipitação pluvial (Figura 6a) de até +175 mm em grande parte da Região Sudeste, centro-leste da Região Centro-Oeste, além do sul do Tocantins e oeste da Bahia. Por outro lado, anomalias negativas de até -100 mm são observadas no interior do Amazonas, sudoeste e nordeste do Acre, leste da Região Nordeste e em parte da Região Sul. Associada às anomalias positivas de precipitação pluvial, a temperatura do ar (Figura 6b) apresenta resfriamento anômalo de até -1,2°C sobre Minas Gerais, grande parte do estado de São Paulo, sul do Rio de Janeiro, sudoeste de Goiás, sudeste do Mato Grosso e leste do Mato Grosso do Sul. Desta forma, os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro resultam em

resfriamento de até -0,9°C no município. Por outro lado, aquecimento anômalo de até +0,6°C é observado no Sergipe, oeste de Alagoas e no noroeste do Rio Grande do Sul.

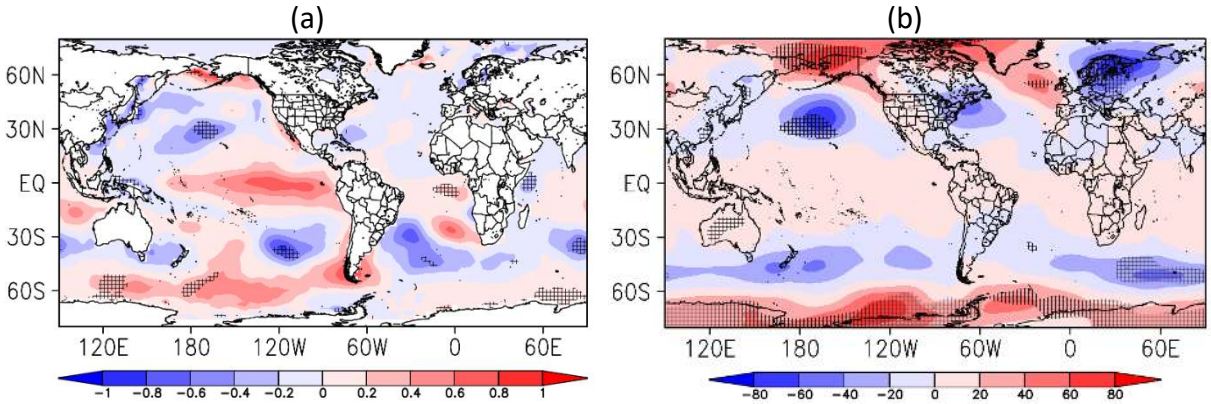
Figura 6 - Composição das anomalias de (a) precipitação pluvial (mm) e (b) temperatura do ar a 2 m (°C) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro de 1982, 1983, 1985, 2003 e 2005. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

As anomalias de TSM global apresentam poucas áreas com significância estatística (Figura 7a). Contudo, a maioria dos anos com extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro estão associados com eventos de El Niño (Índice ONI; Tabela 2). Em relação às anomalias de altura geopotencial em 500 hPa (Figura 7b), existe um padrão espacial semelhante à fase negativa do SAM, com anomalias positivas nas altas latitudes austrais e anomalias negativas nas latitudes médias (sem significância estatística) (MARSHALL, 2003). Todos os anos com extremos chuvosos apresentam Índice SAM com polaridade negativa, mas em apenas dois eventos o Índice é inferior à 1 desvio padrão (Tabela 2).

Figura 7 - Composição das anomalias de (a) temperatura da superfície do mar (°C) e (b) altura geopotencial em 500 hPa (m) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro de 1982, 1983, 1985, 2003 e 2005. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Tabela 2 - Índice ONI, anomalias de TSM na região do Niño 1+2, Niño 3, Niño 4, El Niño-Pacífico Central (ENPC), El Niño-Pacífico Leste (ENPE), Índice SAM e Índice SAODI durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro de 1982, 1983, 1985, 2003 e 2005. Valores em vermelho (azul) indicam índices iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a +1 (-1) desvio padrão.

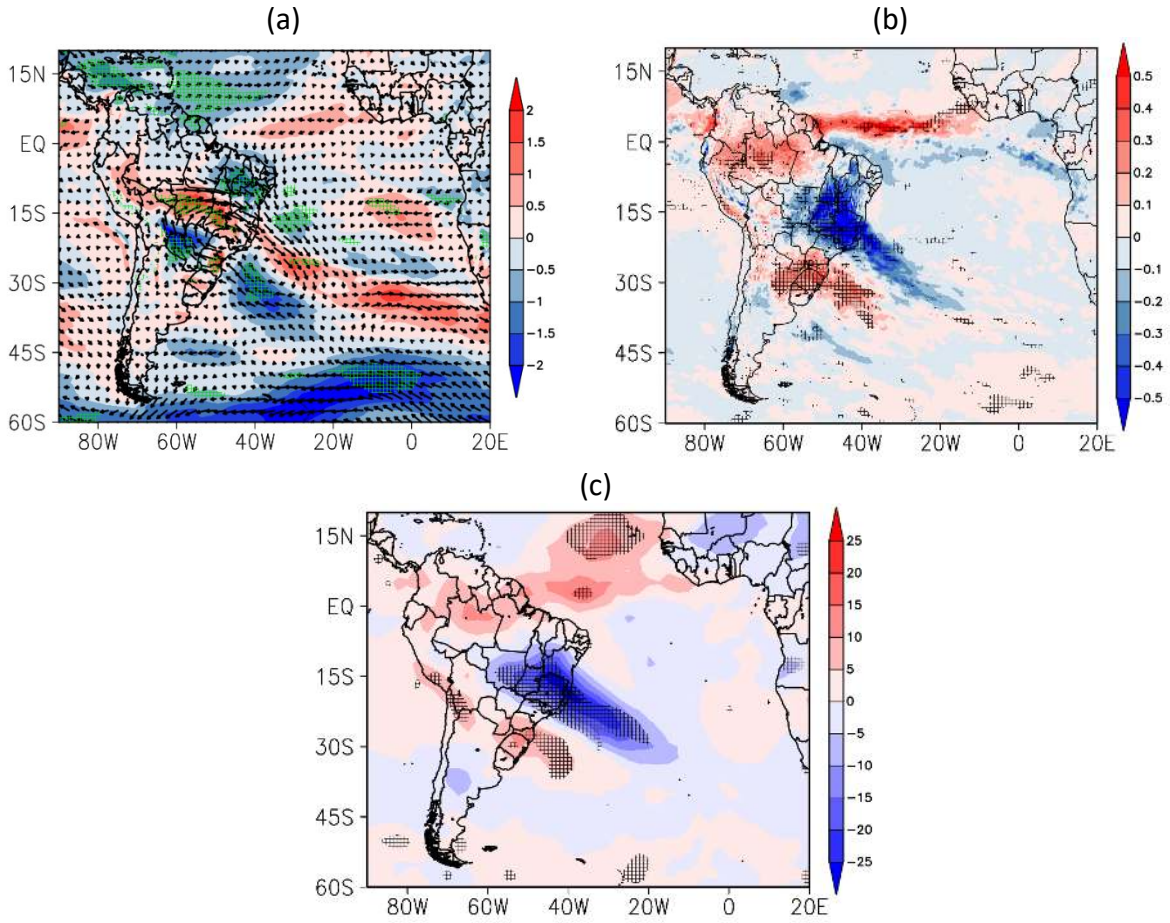
Ano	ONI	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	ENPC	ENPE	SAM	SAODI
1982	0,00	-0,26	0,20	-0,03	sim	não	-0,55	-0,22
1983	2,20	2,65	3,00	0,39	não	não	-1,34	0,64
1985	-1,00	-0,78	-1,26	-0,64	sim	não	-0,80	1,41
2003	0,90	0,13	0,57	0,57	não	não	-0,99	0,31
2005	0,60	-0,02	0,32	0,88	não	não	-0,13	0,99

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

No centro-sul do Brasil existe uma circulação ciclônica em 850 hPa, centrada entre o estado de São Paulo e Minas Gerais (Figura 8a). Esta circulação anômala resulta em convergência (Figura 8b) e convecção (Figura 8c) anômala com orientação noroeste-sudeste entre o Mato Grosso, passando pela Região Sudeste e abrangendo os estados de Goiás, sudeste do Tocantins e sudoeste da Bahia, em direção ao Atlântico Sul subtropical. Por outro lado, na Região Sul há divergência e supressão de convecção anômala. Este padrão espacial de dipolo das anomalias de radiação de onda longa emergente sobre o Brasil é muito semelhante ao padrão de gangorra associado à ZCAS (CASARIN; KOUSKY, 1986; NOGUÉS-PAEGLE; MO, 1997; VERA et al., 2006; MUZA et al., 2009), o que pode indicar um fortalecimento da atividade convectiva da ZCAS. As anomalias de ventos de oeste em torno de 15°S, associadas com a circulação ciclônica anômala em 850 hPa, estão relacionadas com

o aumento da precipitação pluvial e da convecção da ZCAS (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; BOMBARDI et al., 2014). Uma vez que a convecção anômala se estende sobre o Atlântico Sul adjacente, os eventos de ZCAS associados aos extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro são semelhantes às ZCAS oceânicas, as quais são mais frequentes em anos de El Niño e contribuem com extremos chuvosos mais intensos do que os eventos de ZCAS continental (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004). O estudo de Lima e Carpenedo (2020) mostra que os extremos secos em Uberlândia no mês de janeiro estão associados com supressão da atividade da ZCAS, muito semelhante com o padrão de ZCAS oceânica.

Figura 8 - Composição das anomalias de (a) vento em 850 hPa (m/s), (b) divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg $m^{-2}s^1$) e (c) radiação de onda longa emergente (W/m²) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de janeiro de 1982, 1983, 1985, 2003 e 2005. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.

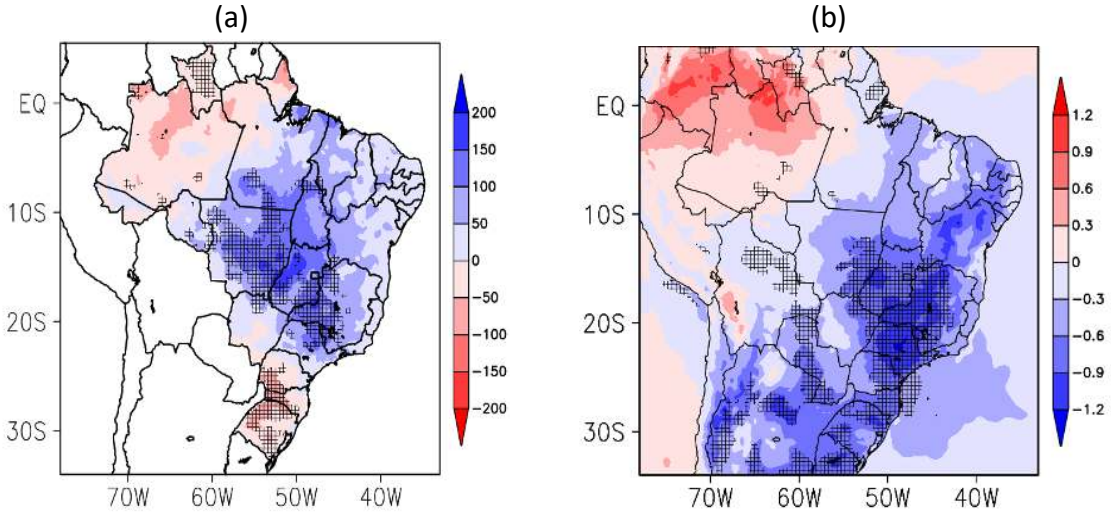


Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

3.4. Padrões climáticos em fevereiro

Durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro, a precipitação pluvial (Figura 9a) apresenta anomalias positivas superiores à +200 mm entre cerca de 5°N-22°S/65°-45°W sobre o Brasil, abrangendo parte das Regiões Sudeste e Centro-Oeste, além do leste de Rondônia, sul do Pará, norte do Tocantins, extremo sudoeste do Maranhão e da Bahia. Por outro lado, anomalias negativas de precipitação pluvial de até -100 mm são observadas em grande parte da Região Sul, em áreas esparsas do Amazonas e no estado de Roraima. Associado às anomalias positivas de precipitação pluvial, são observadas anomalias negativas de temperatura do ar (Figura 9b) de até -1,2°C em grande parte da Região Sudeste e Sul, leste da Região Centro-Oeste. Portanto, os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro estão associados com redução da temperatura do ar no município.

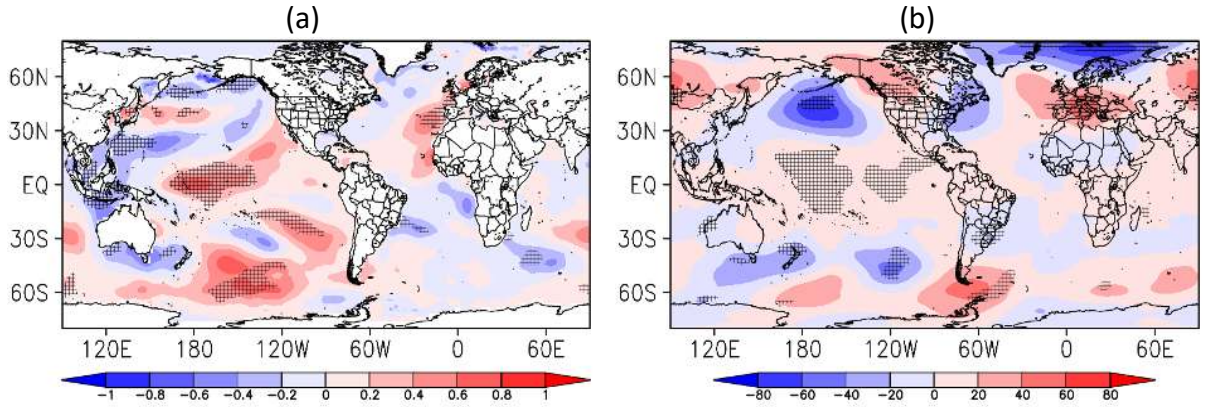
Figura 9 - Composição das anomalias de (a) precipitação pluvial (mm) e (b) temperatura do ar a 2 m (°C) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro de 1980, 1993, 1995, 2002 e 2004. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Avaliando as anomalias globais de TSM (Figura 10a), podemos observar um aquecimento anômalo no centro-oeste do Pacífico equatorial, o que evidencia o predomínio de eventos de ENPC durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro (Tabela 3). Em grande parte da costa leste da Região Sudeste há anomalias negativas de TSM. Em níveis médios (Figura 10b), há uma crista anômala no Pacífico Norte e Sul tropical e um cavado anômalo entre 20°-35°S/65°-40°W, abrangendo o centro-sul do Brasil.

Figura 10 - Composição das anomalias de (a) temperatura da superfície do mar (°C) e (b) altura geopotencial em 500 hPa (m) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro de 1980, 1993, 1995, 2002 e 2004. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

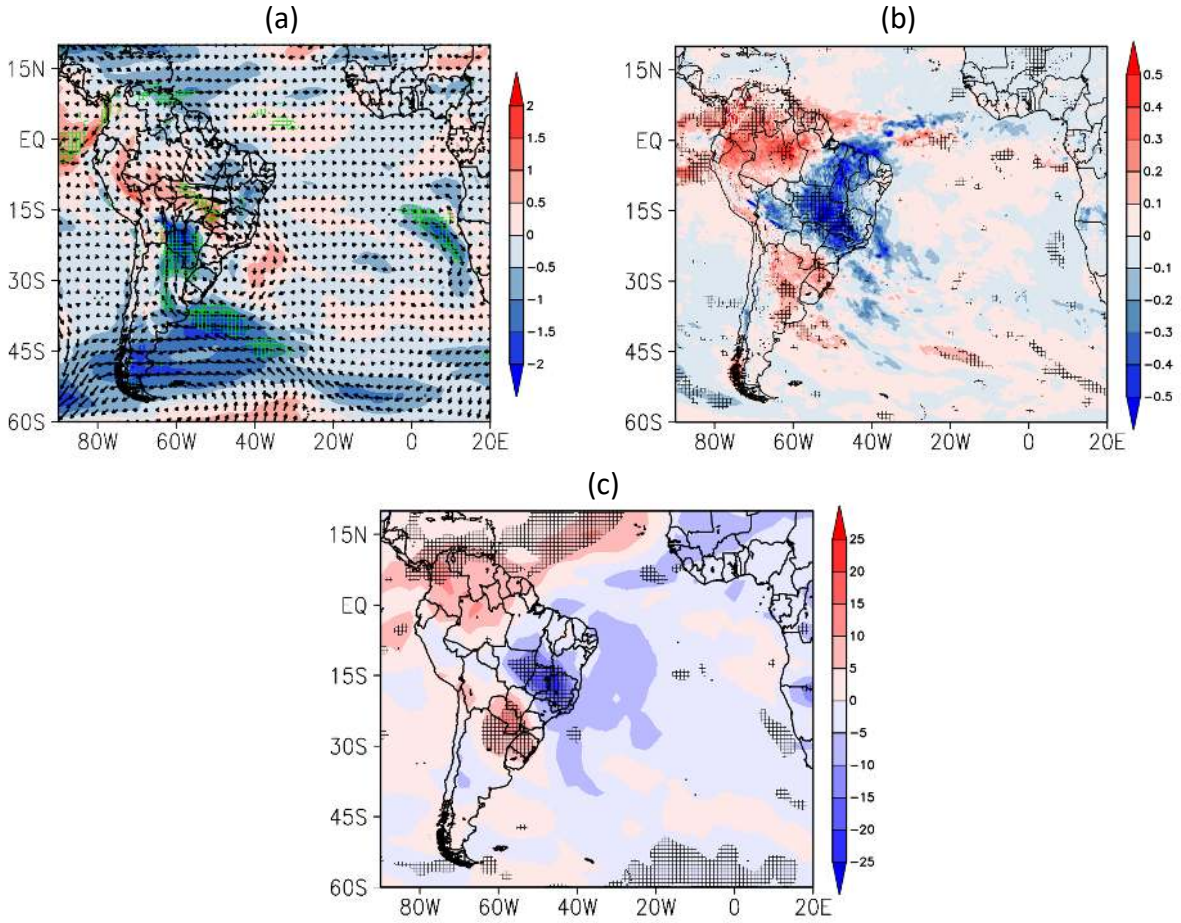
Tabela 3 - Índice ONI, anomalias de TSM na região do Niño 1+2, Niño 3, Niño 4, El Niño-Pacífico Central (ENPC), El Niño-Pacífico Leste (ENPE), Índice SAM e Índice SAODI durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro de 1980, 1993, 1995, 2002 e 2004. Valores em vermelho (azul) indicam índices iguais ou superiores (iguais ou inferiores) a +1 (-1) desvio padrão.

Ano	ONI	Niño 1+2	Niño 3	Niño 4	ENPC	ENPE	SAM	SAODI
1980	0,50	-0,42	0,03	0,36	não	não	-0,98	-0,79
1993	0,30	0,30	0,39	0,10	sim	não	0,44	-0,34
1995	0,70	0,10	0,45	0,71	não	sim	0,53	1,02
2002	0,00	-0,07	-0,24	0,46	sim	não	1,33	-0,36
2004	0,30	-0,07	0,30	0,38	sim	não	-1,18	0,58

Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

Em baixos níveis podemos observar uma circulação ciclônica anômala sobre o centro-sul do Brasil, com anomalias de ventos de oeste em torno de 15°S (Figura 11a). Nesta região há convergência (Figura 11b) e convecção (Figura 11c) anômalas, abrangendo principalmente os estados do Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais. Por outro lado, divergência e supressão de convecção anômala ocorrem na Região Sul do país. Tal padrão de circulação anômala tem sido relacionado com o aumento da precipitação pluvial e atividade da ZCAS (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; BOMBARDI et al., 2014).

Figura 11 - Composição das anomalias de (a) vento em 850 hPa (m/s), (b) divergência do fluxo de umidade integrado na vertical (10^4 kg $m^{-2}s^{1}$) e (c) radiação de onda longa emergente (W/m^2) durante os extremos chuvosos em Uberlândia no mês de fevereiro de 1980, 1993, 1995, 2002 e 2004. Áreas quadriculadas indicam composições significativas ao nível de 10%.



Fonte: Elaborado pelos autores (2022).

4. CONCLUSÕES

Este estudo investigou os padrões atmosféricos médios que caracterizam os extremos chuvosos em Uberlândia - MG, definidos através do método dos percentis, durante a estação chuvosa (dezembro a fevereiro), entre 1980 e 2015.

De forma geral, os extremos chuvosos são decorrentes principalmente da ZCAS e de eventos de El Niño. Os principais resultados são resumidos a seguir:

- Dezembro: predomínio de eventos de El Niño (Índice ONI) e de aquecimento da TSM no Pacífico equatorial (regiões do Niño 3 e Niño 4); fortalecimento da Alta Subtropical do Atlântico Norte, resultando em fortalecimento dos ventos alísios de nordeste e do jato de baixos níveis da América do Sul entre Amazônia e Minas Gerais, o que favorece

um aumento da umidade integrada na vertical e da convecção anômala entre o leste da Região Centro-Oeste e oeste da Região Sudeste do país;

- Janeiro: predomínio de eventos de El Niño (Índice ONI), circulação ciclônica em 850 hPa entre São Paulo e Minas Gerais, favorecendo um aumento da umidade integrada na vertical/ convecção anômala com orientação noroeste-sudeste entre o Mato Grosso e o Atlântico Sul subtropical, e redução da umidade integrada na vertical/ supressão de convecção anômala na Região Sul, indicando a atuação de ZCAS oceânica (mais frequentes em anos de El Niño e associadas com extremos chuvosos mais intensos do que eventos de ZCAS continental);
- Fevereiro: predomínio de eventos de ENPC, cavado em níveis médios e circulação ciclônica em 850 hPa sobre o centro-sul do país, com consequente aumento da umidade integrada na vertical/ convecção anômala com orientação noroeste-sudeste entre o Mato Grosso e a Região Sudeste, e redução da umidade integrada na vertical/ supressão de convecção anômala na Região Sul, indicando um aumento da convecção da ZCAS.

O presente estudo irá contribuir para aprimorar o entendimento sobre os mecanismos relacionados aos extremos climáticos hidrológicos (chuvosos) em Uberlândia, auxiliando no monitoramento e previsão climática, o que permite o planejamento de atividades socioeconômicas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, L. F.; CATALDI, M. Social and environmental vulnerability in Southeast Brazil associated with the South Atlantic Convergence Zone. **Natural Hazards**, v. 109, p. 2423-2437, 2021. https://doi.org/10.1007/s11069-021-04926-z

BOMBARDI, R. J. et al. Precipitation over eastern South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. **Climate Dynamics**, v. 42, p. 1553-1568, 2014. https://doi.org/10.1007/s00382-013-1832-7

CAI, W. et al. Climate impacts of the El Niño – Southern Oscillation on South America. **Nature Reviews Earth Environ**, v. 1, p. 215-231, 2020. https://doi.org/10.1038/s43017-020-0040-3

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and

Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108, 2004. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0088:TSACZI>2.0.CO;2

CASARIN, D. P.; KOUSKY, V. E. Anomalias de precipitação no sul do Brasil e variações na circulação atmosférica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 1, p. 83-90, 1986.

DALAGNOL, R. et al. Extreme rainfall and its impacts in the Brazilian Minas Gerais state in January 2020: Can we blame climate change? **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, e15, 2021. https://doi.org/10.1002/cli2.15

GAN, M. A.; KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over West-Central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, p. 47-66, 2004. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2004)017<0047:TSAMCA>2.0.CO;2

GRIMM, A. M.; TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1589-1609, 2009. https://doi.org/10.1175/2008JCLI2429.1

GRIMM, A. M. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal precipitation, extreme events, and possible effects of climate change. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,** v. 25, p. 537-554, 2011. https://doi.org/10.1007/s00477-010-0420-1

HERSBACH H et al. The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, p. 1999-2049, 2020. https://doi.org/10.1002/qj.3803

HIRATA, F. E.; GRIMM, A. M. The role of synoptic and intraseasonal anomalies in the life cycle of summer rainfall extremes over South America. **Climate Dynamics**, v. 46, p. 3041-3055, 2016. https://doi.org/10.1007/s00382-015-2751-6

HUANG, B. et al. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature version 5 (ERSSTv5): Upgrades, validations, and intercomparisons. **Journal of Climate**, v. 30, p. 8179-8205, 2017. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0836.1

IBGE. **Estatísticas Sociais**: IBGE divulga as estimativas da população dos municípios para 2019. Rio de Janeiro: IBGE, 2022a. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/25278-ibge-divulga-as-estimativas-da-populacao-dos-municipios-para-2019. Acesso em: 10 de mai. 2022.

IBGE. **Estimativas da População**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022b. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=downloads. Acesso em: 26 de jan. 2022.

ITO, E. R. K. **Um estudo climatológico do anticiclone subtropical do Atlântico Sul e sua possível influência em sistemas frontais**. 1999. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. **The tropospheric seasonally varying mean climate over the Western Hemisphere (1975-1995)**. NCEP/Climate Prediction Center Atlas, n. 3, 1997. 135 p.

LIEBMANN, B.; SMITH, C. A. Description of a Complete (Interpolated) Outgoing Longwave Radiation Dataset. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 77, p. 1275-1277, 1996.

LIMA, K. C.; SATYAMURTY, P.; FERNANDEZ, J. P. R. Large-scale atmospheric conditions associated with heavy rainfall episodes in Southeast Brazil**. Theoretical and Applied Climatology**, v. 101, p. 121-135, 2010. https://doi.org/10.1007/s00704-009-0207-9

MARSHALL, G. J. Trends in the Southern Annular Mode from observations and reanalyses. **Journal of Climate**, v. 16, p. 4134-4143, 2003. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<4134:TITSAM>2.0.CO;2

KOBIYAMA, M. et al. **Prevenção de desastres naturais**: conceitos básicos. Curitiba: Organic Trading, 2006. 109 p. ISBN 85-87755-03-X

LIMA, M. P.; CARPENEDO, C. B. Eventos extremos secos em Uberlândia-MG e circulação atmosférica associada. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 158-180, 2020. http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v27i0.70256

MONTINI, T. L.; JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. The South American low-level jet: a new climatology, variability, and changes. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 124, n. 3, p. 1200-1218, 2019. https://doi.org/10.1029/2018JD029634

MUZA, M. N. et al. Intraseasonal and Interannual Variability of Extreme Dry and Wet Events over Southeastern South America and the Subtropical Atlantic during Austral Summer. **Journal of Climate**, v. 22, n. 7, p. 1682-1699, 2009. https://doi.org/10.1175/2008JCLI2257.1

NNAMCHI, H. C.; LI, J. P. Influence of the South Atlantic Ocean Dipole on West African summer precipitation. **Journal of Climate**, v. 24, p. 1184-1197, 2011. https://doi.org/10.1175/2010JCLI3668.1

NNAMCHI, H. C.; LI, J. P.; ANYADIKE, R.N.C. Does a dipole mode really exist in the South Atlantic Ocean? **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 116, 2011. https://doi.org/10.1029/2010JD015579

NOGUÉS-PAEGLE, J.; MO, K. C. Alternating wet and dry conditions over South America during summer. **Monthly Weather Review**, v. 125, p. 279-291, 1997. https://doi.org/10.1175/1520-0493(1997)125<0279:AWADCO>2.0.CO;2

PBMC. **Mudanças Climáticas e Cidades**. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Ribeiro, S.K., Santos, A.S. (Eds.)]. PBMC, COPPE – UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 116 p., 2016.

PETRUCCI, E. **Características do clima de Uberlândia-MG: análise da temperatura, precipitação e umidade relativa**. 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. Disponível em: https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20810/4/CaracteristicasClimaUberlandia.pdf. Acesso em: 10 mai. 2022.

PNAD. **Pesquisa nacional por amostra de domicílios**: síntese de indicadores - 2015. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. 108 p. ISBN 978-85-240-4398-7

RAO, V. B.; CAVALCANTI, I. F. A.; HADA, K. Annual variation of rainfall over Brazil and water vapor characteristics over South America. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 101, p. 539-551, 1996. https://doi.org/10.1029/96JD01936

S2ID. **Sistema Integrado de Informações sobre Desastres**. Brasil: Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Disponível em: https://s2id.mdr.gov.br/. Acesso em: 31 de jan. 2022.

SENEVIRATNE, S. I. et al. **Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate**. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1513-1766, 2021. https://doi.org/10.1017/9781009157896.013

VAN STORCH, H.; ZWIERS, F. W. **Statistical Analysis in Climate Research**. Cambridge University Press, UK, 1999.

VASCONCELLOS, F. C.; CAVALCANTI, I. F. A. Extreme precipitation over Southeastern Brazil in the austral summer and relations with the Southern Hemisphere annular mode. **Atmospheric Science Letters**, v. 11, p. 21-26, 2010. https://doi.org/10.1002/asl.247

VERA, C. et al. Towards a unified view of the American Monsoon systems. **Journal of Climate**, v. 19, p. 4977-5000, 2006. https://doi.org/10.1175/JCLI3896.1

WILKS, D. S. **Statistical Methods in the Atmospheric Sciences** - An Introduction. 2 ed. Academic Press, New York, 2006.

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. Daily gridded meteorological variables in Brazil (1980-2013). **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 6, p. 2644-2659, 2016. https://doi.org/10.1002/joc.4518

XAVIER, A. C.; KING, C. W.; SCANLON, B. R. An update of Xavier, King and Scanlon (2016) daily precipitation gridded data set for the Brazil. *In:* XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2017, Santos, SP. **Anais** [...]. Santos, SP, v. 1, p. 562-569, 2017.

ZILLI, M. T.; CARVALHO, L. M. V.; LIEBMANN, B.; SILVA DIAS, M. A. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269-2279, 2017. https://doi.org/10.1002/joc.4840