

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E SUAS
RELAÇÕES COM A TEMPERATURA DOS OCEANOS
TROPICAIS NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL**

LUIZ OCTÁVIO FABRICIO DOS SANTOS

**PROF. Dra. NADJA GOMES MACHADO
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT
Maio de 2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO
INSTITUTO DE FÍSICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA AMBIENTAL**

**TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E SUAS
RELAÇÕES COM A TEMPERATURA DOS OCEANOS
TROPICAIS NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL**

LUIZ OCTÁVIO FABRICIO DOS SANTOS

*Dissertação apresentada ao Programa
de Pós-Graduação em Física Ambiental
da Universidade Federal de Mato
Grosso, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Física
Ambiental.*

**PROF. Dra. NADJA GOMES MACHADO
ORIENTADORA**

**Cuiabá, MT
Maio de 2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Fonte.

F126t Fabricio dos Santos, Luiz Octavio.
 TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E SUAS RELAÇÕES
 COM A TEMPERATURA DOS OCEANOS TROPICAIS NA REGIÃO
 CENTRO-OESTE DO BRASIL/ Luiz Octavio Fabricio dos Santos. -- 2021
 xvii, 83 f. : il. color. ; 30 cm.

 Orientador: Nadja Gomes Machado.
 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de
 Física, Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Cuiabá, 2021.
 Inclui bibliografia.

 1. América do Sul. 2. anomalias de TSM. 3. precipitação. 4. temperatura do
 ar. 5. variabilidade climática. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DEDICATÓRIA

Dedico a minha família, de maneira especial ao meu pai Denizart Tarquínio dos Santos e minha avó Maria Tarquínio dos Santos.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço a Deus pelo dom da vida, pelo seu amor incondicional, pelo cuidado com minha família, por nunca desistir de mim e por iluminar meu caminho e sempre me abençoar. A gente sonha e Deus realiza;
- Aos meus familiares, principalmente ao meu pai Denizart Tarquínio dos Santos, minha mãe Ane Lena Leal Fabricio, minha irmã Danielle Fabricio dos Santos, minha esposa Daniele do Nascimento Ferreira e ao meu filho amado Denizart Ferreira dos Santos. Aos meus queridos tios e tias, Cybelle Leal Fabricio, Denise Tarquínio dos Santos, Dhenia Tarquínio dos Santos, Davi Tarquínio dos Santos, Marcelo Luís Freire Guimarães. Minhas amadas avós Maria Tarquínio dos Santos e Maria Auxiliadora Leal Fabricio;
- A minha Orientadora e Professora Dra. Nadja Gomes Machado, pela dedicação, orientação e paciência durante o mestrado. Ao Professor Dr. Marcelo Sacardi Biudes, por toda ajuda e dedicação durante o mestrado. Agradeço de coração em especial aos dois por terem me acolhido tão bem, por abrir as portas de casa e me tratarem como uma pessoa da família. A professora Nadja (carinhosamente chamada de Nadjão) por tudo, pelos conselhos e ensinamentos, tanto para o mestrado, como para a vida. Ao Professor Marcelo (Marcelão) também pelos conselhos, convivência e grande ajuda. A vocês deixo aqui o meu muito obrigado por tudo;
- Ao meu amigo e Professor Dr. Carlos Alexandre Santos Querino, pelo apoio, incentivo, por seus ensinamentos e grande contribuição para o meu crescimento tanto pessoal como acadêmico;
- Aos docentes do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental (PPGFA) pelos ensinamentos e contribuições;
- Aos queridos técnicos como Cesário e Soilce do Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental (PPGFA), pela dedicação e amizade durante o mestrado;

- Aos membros do Grupo de Pesquisa em Interação Biosfera Atmosfera (GPIBA);
- Ao meu amigo Altemar Lopes, pela parceria de sempre, apoio, amizade e convivência.
- Aos meus amigos Nívio Lotufo, Jonas Rambo, Israel Ivo, Vagner Pavão, Elio Santos, Professor Armando, Juliana Lotufo, Nivalda e Bárbara, por todo o apoio e amizade;
- A Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT) e ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de mestrado;
- A banca examinadora desta Dissertação.

EPÍGRAFE

*“Aquele que habita no esconderijo do
Altíssimo, à sombra do Onipotente descansará.
Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu
refúgio, a minha fortaleza, e nele confiarei.”
(Salmo 91)*

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iii
AGRADECIMENTOS.....	iv
EPÍGRAFE.....	vi
SUMÁRIO	vii
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS	xiv
RESUMO	xvi
ABSTRACT.....	xvii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. PROBLEMÁTICA.....	1
1.2. JUSTIFICATIVA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1 Objetivo Geral	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS.....	5
2.2. ÍNDICES CLIMÁTICOS.....	6
2.3. INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. ÁREA DE ESTUDO	15
3.2. DADOS	16
3.3. RCLIMDEX	17
3.4. ANÁLISE DOS DADOS	20
4. RESULTADOS	22
4.1. TENDÊNCIA DOS ÍNDICES EXTREMOS DE TEMPERATURA.....	23
4.2. TENDÊNCIA DOS ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO.....	27
4.3. ANÁLISE SAZONAL POR ECOSSISTEMAS	32
4.4. CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR COM AS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO MAR	34

4.5.	CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO COM AS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO MAR....	35
5.	DISCUSSÕES	38
5.1.	ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO	38
5.2.	RELAÇÃO DOS ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS DA TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO COM AS ANOMALIAS DA TSM DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO.....	40
6.	CONCLUSÃO	43
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
8.	ANEXO	55

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Série temporal do Índice de Oscilação Sul (IOS) referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro 2020.	9
FIGURA 2 – Série temporal do Índice Multivariado do ENOS (MEI) referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro de 2020.....	10
FIGURA 3 – Série temporal do Oscillation Niño Index (ONI) referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro de 2019.....	10
FIGURA 4 – Célula de Circulação de Walker em condições neutras.	11
FIGURA 5 – Célula de Circulação de Walker em condições de El Niño. As cores nos oceanos representam anomalias de temperatura na superfície. A cor laranja representa anomalia quente (anomalia positiva) e a cor azul, anomalia fria (anomalia negativa).	12
FIGURA 6 – Célula de Circulação de Walker em condições de La Niña. As cores nos oceanos representam anomalias de temperatura na superfície. A cor laranja representa anomalia quente (anomalia positiva) e a cor azul, anomalia fria (anomalia negativa).	13
FIGURA 7 – Padrão de anomalias da TSM denominadas de Dipolo do Atlântico observado em maio de 2009.....	14
FIGURA 8 – Distribuição espacial das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) utilizadas para avaliar as tendências dos índices extremos climáticos para a região Centro Oeste do Brasil.	16
FIGURA 9 – Localização das áreas de atuação do fenômeno ENOS no Oceano Pacífico Equatorial (A), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 mais as regiões do Oceano Atlântico Tropical usadas para o cálculo dos índices TNAI e TSAI (B), associados ao padrão de dipolo de anomalias das temperaturas do Oceano Atlântico utilizadas para	

as correlações entre os índices extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação.

..... 21

FIGURA 10 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Dias Quentes (TX90p) (A), Noites Quentes (TN90p) (B), Dias Frios (TX10p) (C), Noites Frias (TN10p) (D) e Amplitude da Temperatura Diurna (DTR) (E) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância. 24

FIGURA 11 – Função densidade de probabilidade (PDF) da frequência anual dos índices de Noites frias (TN10p) (A), Noites quentes (TN90p) (B), Dias frios (TX10p) (C) e Dias quentes (TX90p) (D) em intervalos de dez anos durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. 25

FIGURA 12 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Menor Temperatura Máxima Anual (TXn) (A), Menor Temperatura Mínima Anual (TNn) (B), Temperatura Máxima Anual (TXx) (C), Maior Temperatura Mínima Anual (TNx) (D), Duração das Ondas de Calor (WSDI) (E) e Duração das Ondas de Frio (CSDI) (F) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância. 27

FIGURA 13 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) (A), a Quantidade Máxima de Precipitação em Cinco Dias Consecutivos (Rx5day) (B), precipitação total anual dos dias úmidos (PRCPTOT) (C), Índice simples de intensidade de precipitação (SDII) (D), Dias Muito Úmidos (R95p) (E) e Dias Extremamente Úmidos (R99p) (F) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância. 29

FIGURA 14 – Função densidade de probabilidade (PDF) da frequência anual dos índices de Dias muito chuvosos (R95p) (A), Dias extremamente chuvosos (R99p) (B), Máxima precipitação anual em 1 dia (mm) (Rx1day) (C) e Máxima precipitação

anual em 5 dias consecutivos (mm) (Rx5day) (D) em intervalos de dez anos durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil..... 30

FIGURA 15 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm (R10mm) (A), Precipitação de um dia igual ou superior a 20 mm (R20mm) (B), Precipitação de um dia igual ou superior a 50 mm (R50mm) (C), Dias Consecutivos Úmidos (CWD) (D), e número máximo de dias consecutivos secos (CDD) (E) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância. 32

FIGURA 16 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) com os índices extremos de temperatura do ar para os ecossistemas da Amazônia (AMZ), Cerrado (CRD), Pantanal (PAN) e Mata Atlântica (ATF) que estão inseridos no Centro-Oeste do Brasil. As células que apresentam *** indicam valores significativos ao nível de 5%..... 35

FIGURA 17 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) com os índices extremos de precipitação para os ecossistemas da Amazônia (AMZ), Cerrado (CRD), Pantanal (PAN) e Mata Atlântica (ATF) que estão inseridos no Centro-Oeste do Brasil. As células que apresentam *** indicam valores significativos ao nível de 5%..... 37

FIGURA 18 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando todos os biomas da área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019..... 56

FIGURA 19 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Amazônia na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019. 57

FIGURA 20 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma do Cerrado na área

de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019. 58

FIGURA 21 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma do Pantanal na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019. 59

FIGURA 22 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Mata Atlântica na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019..... 60

FIGURA 23 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando todos os biomas da área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019. 61

FIGURA 24 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Amazônia na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019. 62

FIGURA 25 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando todos o bioma Cerrado na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019..... 63

FIGURA 26 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma do Pantanal na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019. 64

FIGURA 27 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Mata Atlântica na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019..... 65

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Período de dados disponíveis e localização das estações meteorológicas convencionais utilizadas para avaliar as tendências dos índices extremos climáticos para a região Centro Oeste do Brasil.....	17
TABELA 2 – Descrição dos índices extremos climáticos de temperatura e precipitação utilizadas para avaliar as tendências dos índices extremos climáticos para a região Centro Oeste, Brasil. Tmáx: Temperatura Máxima; Tmín: Temperatura Mínima; RR: quantidade diária de precipitação em um dia.	18
TABELA 3 – Tendências significativas, não-significativas e de não-tendência dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação a partir do teste de Mann-Kendall durante 1979 a 2019 para a região Centro-Oeste do Brasil.	22
TABELA 4 – Tendências sazonais dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação a partir do teste de Mann-Kendall durante 1979 a 2019 para a região Centro-Oeste do Brasil. As células de cor cinza e negrito indicam valores significativos ao nível de 5%	33

LISTA DE SÍMBOLOS

ACF	Função de Autocorrelação
AMZ	Amazônia
ATF	Mata Atlântica
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CCI	Comissão de Climatologia
CDD	Dias consecutivos secos
CLIVAR	Projeto de Variabilidade e Previsibilidade Climática
CMS	Departamento de Pesquisa do Serviço Meteorológico do Canadá
CO₂	Dióxido de Carbono
CRD	Cerrado
CSDI	Duração das ondas de frio
CWD	Dias consecutivos úmidos
DTR	Amplitude da temperatura diurna
ENOS	El Nino Oscilação Sul
ETCCDMI	Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IOS	Índice de Oscilação Sul
MEI	Índice Multivariado do ENOS
MK	Teste de Mann-Kendall
MMK	Teste Modificado de Mann-Kendall
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
OMM	Organização Meteorológica Mundial
ONI	Índice de Niño Oceânico
PAN	Pantanal
PDF	Função Densidade de Probabilidade
PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos
R10mm	Precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm

R20mm	Precipitação de um dia igual ou superior a 20 mm
R50mm	Precipitação de um dia igual ou superior a 50 mm
R95p	Dias muito úmidos
R99p	Dias extremamente úmidos
Rx1day	Quantidade máxima de precipitação em um dia
Rx5day	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias
SCM	Sistemas Convectivos de Mesoescala
SDII	Índice simples de intensidade de precipitação
SFHS	Sistemas Frontais do Hemisfério Sul
SST	Sea Surface Temperature
TN10p	Noites frias
TN90p	Noites quentes
TNAI	Região do Oceano Atlântico Norte
TNn	Menor Temperatura Mínima Anual
TNx	Maior Temperatura Mínima Anual
TSAI	Região do Oceano Atlântico Sul
TSM	Temperatura da Superfície do Mar
TX10p	Dias frios
TX90p	Dias quentes
TXn	Menor Temperatura Máxima Anual
TXx	Maior Temperatura Máxima Anual
VPD	Déficit de Pressão de Vapor
WDSI	Duração das ondas de calor
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência intertropical

RESUMO

SANTOS, L. O. F. **TENDÊNCIAS DE EXTREMOS CLIMÁTICOS E SUAS RELAÇÕES COM A TEMPERATURA DOS OCEANOS TROPICAIS NA REGIÃO CENTRO-OESTE DO BRASIL.** Cuiabá, 2021, 83f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental) - Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso.

Os extremos climáticos têm sido um assunto de grande importância no contexto sobre mudanças climáticas, pois seu entendimento fornece informações para o gerenciamento de eventos que podem levar a desastres naturais e desequilíbrios socioeconômicos. O objetivo deste estudo foi caracterizar a tendência de eventos extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação na região Centro-Oeste do Brasil, assim como, analisar suas relações com as anomalias de temperatura da superfície do mar nos oceanos Pacífico e Atlântico. Os dados de precipitação e temperatura do ar foram coletados em 24 estações meteorológicas convencionais no período de 1979 a 2019. Além disso, foram utilizados dados de anomalias de temperatura da superfície do mar nas áreas Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, Norte e Sul do Atlântico no período de 1979 a 2019. As tendências monotônicas dos índices extremos climáticos foram calculadas através do teste de Mann-Kendall. A independência da série de dados foi verificada a partir da função de Autocorrelação. Para avaliar o grau de relação existente entre os índices extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação com as anomalias anuais da temperatura da superfície do mar foi utilizado o método de correlação de Pearson. Houve tendência positiva da temperatura do ar durante os dias e noites quentes, enquanto nos dias e noites frias essa tendência foi negativa. As temperaturas máximas e mínimas aumentaram em grande parte da região Centro-Oeste. Além disso, a temperatura máxima está aumentando com maior magnitude que a temperatura mínima. Por outro lado, os índices extremos climáticos de precipitação não apresentaram um padrão bem definido, no entanto, os eventos com precipitação forte apresentaram tendências de aumento. Destaca-se que o índice simples de precipitação diária apresentou a maior tendência de aumento, o que indica que a intensidade média da precipitação se intensificou durante o período analisado. As anomalias de temperatura da superfície do mar do oceano Pacífico Equatorial e Atlântico apresentaram correlações estatisticamente significativas com os índices extremos climáticos, indicando que a variabilidade da temperatura da superfície do mar influencia o comportamento da temperatura do ar e precipitação sobre o Centro-Oeste do Brasil. Portanto, foram observadas tendências de eventos climáticos para a temperatura do ar e precipitação para a região Centro-Oeste do Brasil, as quais foram correlacionados significativamente com as anomalias de temperatura da superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico.

Palavras-chave: América do Sul, anomalias de TSM, precipitação, temperatura do ar, variabilidade climática.

ABSTRACT

SANTOS, L. O. F. **TRENDS IN CLIMATE EXTREMES AND THEIR RELATIONSHIPS WITH THE TROPICAL OCEAN TEMPERATURE IN THE MID-WEST REGION OF BRAZIL.** Cuiabá, 2021, 83f. Dissertation (Master's Degree in Environmental Physics) – Institute of Physics, Federal University of Mato Grosso.

Climatic extremes have been a subject of great importance in the context of climate change, as their understanding provides information for the management of events that can lead to natural disasters and socioeconomic imbalances. The objective of this study was to characterize the trend of extreme climatic events of air temperature and precipitation in the Midwest region of Brazil, as well as to analyze their relationship with sea surface temperature anomalies in the Pacific and Atlantic oceans. Precipitation and air temperature data were collected from 24 conventional meteorological stations from 1979 to 2019. Moreover, data on sea surface temperature anomalies were used in Niño 1 + 2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4, North and South Atlantic areas in the period from 1979 to 2019. The monotonic tendencies of extreme climatic indices were calculated using the Mann-Kendall test. The independence of the data series was verified using the Autocorrelation function. Pearson's correlation method was used to assess the degree of relationship between the extreme climatic indexes of air temperature and precipitation with the annual anomalies of sea surface temperature. There was a positive trend in air temperature during hot days and nights, while on cold days and nights this trend was negative. Maximum and minimum temperatures have increased in much of the Midwest region. In addition, the maximum temperature is increasing with greater magnitude than the minimum temperature. On the other hand, the extreme climatic indexes of precipitation did not present a well-defined pattern, however, the events with strong precipitation presented tendencies of increase. It is noteworthy that the simple index of daily precipitation showed the greatest tendency to increase, which indicates that the average intensity of precipitation intensified during the analyzed period. The anomalies of sea surface temperature in the Equatorial and Atlantic Pacific Ocean showed statistically significant correlations with extreme climatic indices, indicating that the variability of sea surface temperature influences the behavior of air temperature and precipitation over the Midwest of Brazil. Therefore, trends in climatic events were observed for air temperature and precipitation for the Midwest region of Brazil, which were significantly correlated with surface temperature anomalies in the Pacific and Atlantic oceans.

Keywords: Air temperature, climatic variability, precipitation, South America, SST anomalies.

1. INTRODUÇÃO

1.1. PROBLEMÁTICA

O Centro-Oeste do Brasil abrange uma extensa área territorial e ampla variedade de ecossistemas, o que contribui para sua complexa variabilidade climática (MOREIRA et al., 2015). Esta região está sujeita a ocorrência de eventos extremos climáticos mais frequentes, devido essas áreas serem mais vulneráveis a variabilidade da precipitação e da temperatura do ar (SEIN et al., 2018). Além disso, a região Centro-Oeste apresenta participação significativa no cenário nacional e internacional em relação a agropecuária, em que se destaca por ser um dos maiores produtores do Brasil (carne, soja, algodão, milho, cana-de-açúcar e arroz) (ALMAGRO et al., 2017). Deste modo, as variações nos extremos climáticos podem interferir, direta ou indiretamente no sistema produtivo e econômico da região (ELY e FORTIN, 2020).

Em geral, existem várias conceituações para eventos extremos, nesse trabalho utilizou-se o do viés de uma ocorrência climática e meteorológica desencadeadora de riscos e desastres de rápida evolução, definido como aqueles que excedem os eventos habituais, e conseqüentemente, causam impactos ao meio, no entanto, são relativos à região onde se manifestam (BORSATO e MASSOQUIM, 2018). A região Centro-Oeste apresenta eventos extremos de precipitação relacionados a chuvas com curta duração, porém, com grande intensidade, a qual pode levar a desastres ambientais como deslizamentos de terra. Por outro lado, há a ocorrência de longos períodos de seca que impactam no sistema agropecuário da região. Além disso, os eventos extremos de temperatura do ar estão associados ao cenário de elevadas temperaturas, ocorrências de dias e noites quentes e ondas de calor (REGOTO et al., 2021).

No entanto, os fenômenos de larga escala também modificam os padrões climáticos e estão relacionados aos gradientes de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) sobre os oceanos Pacífico Equatorial (El Niño Oscilação Sul - ENOS) e Atlântico (Dipolo do Atlântico) (ASSIS et al., 2018; SANTOS et al., 2020). A TSM é uma forçante da variação do clima global e sua interação oceano-atmosfera interfere nos padrões de circulação atmosférica em escala global, causando alterações na temperatura e precipitação sobre os continentes (VIEGAS et al., 2019). Por isso, os oceanos têm um papel extremamente importante para o clima do planeta (LIN e QIAN, 2019). Dentre os eventos originados pela variação da TSM, o El Niño (fase quente) e

a La Niña (fase fria), no Oceano Pacífico, são os mais conhecidos por causar flutuações na pressão atmosférica ao nível do mar e proporcionar mudanças na circulação atmosférica, favorecendo a intensificação de eventos extremos (VIEGAS et al., 2019).

O detalhamento da magnitude da mudança temporal dos elementos climáticos é um aspecto pouco considerado em estudos climatológicos (SANTOS et al., 2020). Desta maneira, o estudo de tendências e variabilidade climática surge como alternativa para monitorar, prever e avaliar as taxas de ocorrências ou valores associados a um determinado evento a médio e longo prazo (BADSHA et al., 2016). Os eventos extremos têm sido tema de grande interesse em pesquisas de mudanças climáticas por proporcionar subsídios para gestão de desastres naturais e planejamento frente aos desequilíbrios nos sistemas sociais e produtivos (SANTOS et al., 2020).

Vários estudos sobre eventos extremos na América do Sul têm indicado mudanças climáticas através de análises de tendências para detecção de extremos climáticos (MARENGO e CAMARGO, 2008; SANTOS et al., 2012; SILVA et al., 2019; COSTA et al., 2020; DEREZYNSKI et al., 2020; MARRFOAN e REBOITA, 2020). No entanto, há poucos estudos que consideram o Centro-Oeste do Brasil (SANTOS et al., 2008a). Além disso, grande parte desses estudos utilizam médias mensais e anuais, não considerando dados diários (ELY e FORTIN, 2020).

1.2. JUSTIFICATIVA

Os extremos climáticos podem ser calculados por meio de índices que possibilitam descrever a variabilidade do clima e suas tendências (ELY e FORTIN, 2020). O Software RCLimDex possibilita processar detalhadamente os registros históricos das variáveis climáticas indicando variabilidade e tendência nos dados (SANTOS e OLIVEIRA, 2017). O RCLimDex é dirigido pela Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDMI), sendo patrocinado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), Comissão de Climatologia (CCI) e pelo Projeto de Variabilidade e Previsibilidade Climática (CLIVAR).

A análise das tendências dos extremos climáticos na região Centro-Oeste do Brasil nos permite observar mudanças estatisticamente significativas no comportamento de variáveis micrometeorológicas. Em geral, essas mudanças ocorrem

de muitas formas, como por exemplo no padrão da precipitação, a qual pode alterar a disponibilidade hídrica da superfície e aumentar a frequência de secas ou inundações. Por outro lado, o aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade do ar pode intensificar a frequência de focos de incêndios durante a estação seca, proporcionando mudanças ou até mesmo a perda de biodiversidade. Além disso, muitos desses eventos estão associados a variáveis externas (como anomalias de TSM) que contribuem para anos mais húmidos ou mais secos do que o normal. Dessa forma, os oceanos Pacífico e Atlântico também desempenham papel fundamental na caracterização climática sobre o continente.

No entanto, existem ainda poucos estudos sobre tendência de eventos extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação, principalmente para a região Centro-Oeste do Brasil, sendo que essa região tem uma participação significativa no cenário nacional e internacional quanto à produção agropecuária. Nesse contexto, o estudo dos processos de interação entre o oceano e a atmosfera na região Centro-Oeste do Brasil é de grande importância para se entender como estes fenômenos afetam o tempo e o clima, e consequentemente, as principais atividades econômicas da região.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Caracterizar a tendência de eventos extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação na região Centro-Oeste do Brasil, assim como, analisar suas relações com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) nos Oceanos Pacífico e Atlântico.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar e quantificar tendências na ocorrência de eventos extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação na região Centro-Oeste do Brasil;

- Verificar se há influência das anomalias de temperatura de superfície dos oceanos Pacífico e Atlântico sobre a variabilidade dos índices extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS

Em termos meteorológicos ou climatológicos, os eventos extremos são definidos como grandes desvios de um estado climático moderado que ocorrem em escalas que podem variar desde dias até milênios (DERECZYNSKI et al., 2020). No entanto, os mais importantes a serem avaliados devido a seu potencial de causar impactos significativos positivos ou negativos são os eventos extremos a curto e médio prazo. Estes eventos extremos climáticos podem ser classificados de diversas maneiras, como de origem hidrológica (inundações bruscas e graduais, alagamentos, enchentes, deslizamentos), geológicos ou geofísicos (processos erosivos, de movimentação de massa e deslizamentos provenientes de processos geológicos ou fenômenos geofísicos), meteorológicos (raios, ciclones tropicais e extratropicais, tornados e vendavais), climatológicos (estiagem e seca, queimadas e incêndios florestais, chuvas de granizo, geadas e ondas de frio e de calor (SANTOS et al., 2016). Em geral, a ocorrência de extremos climáticos é um aspecto diretamente associado a variabilidade climática, frequência, duração, extensão espacial e intensidade que podem variar de acordo com o resultado das mudanças climáticas (SILVA et al., 2019).

Na região Centro-Oeste do Brasil, o déficit de precipitação durante o ano de 2001 resultou em uma diminuição significativa dos fluxos fluviométricos de toda a região. Isso reduziu a capacidade de produção de energia hidrelétrica nessas áreas, sendo que aproximadamente 70% da energia elétrica gerada no país provém de fontes hidrelétricas (COELHO et al., 2016). Esse impacto afetou quase o país inteiro, causando uma crise energética que fez com que as autoridades tomassem medidas de conservação de energia para evitar um possível apagão nacional (CAVALCANTI e KOUSKY, 2004). Mais recentemente, em 2016 a região Centro-Oeste do Brasil vivenciou um evento de seca intenso, influenciada pela falta de chuva, baixa umidade do ar e altas temperaturas (CUNHA et al., 2018). Esse conjunto de condições favoráveis ao estresse hídrico proporcionou impactos diretos na saúde da população, economia, abastecimento de água e na intensificação dos incêndios florestais (CUNHA et al., 2018).

Os eventos extremos e mudanças climáticas são de grande interesse para a sociedade, uma vez que possíveis alterações associadas a variabilidade climática

podem acarretar impactos significativos nos setores natural, social e econômico. Além disso, extremos climáticos relacionados a precipitação e temperatura podem afetar o consumo de energia, conforto humano e turismo (SANTOS et al., 2010). As mudanças climáticas impactam em alterações no comportamento da precipitação e temperatura, o qual pode ocorrer mudanças no funcionamento do ciclo hidrológico. Desta maneira, há um aumento ou redução na variabilidade dos eventos de precipitação os quais podem provocar secas e inundações com maior frequência e intensidade (DUFEK e AMBRIZZI, 2008). Estudos indicam que a frequência e duração dos períodos de secas pode ser uma consequência associada ao aquecimento global (VICENTE-SERRANO et al., 2020).

As mudanças climáticas são variações estatisticamente significativas na variabilidade média climática, na média da variável climática ou até mesmo na simetria da distribuição dos eventos, a qual pode persistir por um extenso período (décadas ou mais). Estas mudanças, podem estar associadas a processos naturais internos ou forçantes externos, assim como, alterações de natureza antropogênica na composição atmosférica ou do uso do solo (RUIZ-ALVAREZ et al., 2020). Neste contexto, as mudanças climáticas associadas a ocorrência do aquecimento global são fatores determinantes na intensificação do transporte de altos fluxos evaporativos na atmosfera, o que consequentemente acelera o ciclo hidrológico, em que pode influenciar na ocorrência de eventos extremos climáticos (CARMICHAEL et al., 2017).

2.2. ÍNDICES CLIMÁTICOS

Eventos extremos climáticos têm surgido como uma das principais respostas as variações climáticas em diversos locais do mundo. O excesso ou o déficit de precipitação apresenta potencial de causar secas severas e inundações. Desta maneira, é necessário a obtenção de informações relacionado a variabilidade dos extremos climáticos por causa dos efeitos devastadores ao meio ambiental, social e econômico (SANTOS et al., 2020). A análise dos extremos climáticos apresenta como requisito longas séries de observações para obter estimativas razoáveis da intensidade e frequência de eventos raros (TANK et al., 2009). Além disso, são necessários dados contínuos com resolução diária ou até mesmo horária, o que pode ser um problema

devido a falta de observações de alta qualidade temporal e espacial cobrindo diversas regiões do globo. A OMM (Organização Mundial de Meteorologia) indica a utilização de registros climáticos com alta resolução temporal para a avaliação e detecção dos extremos.

Para analisar a variabilidade e ocorrência de eventos extremos, a equipe de especialistas do CCI/CLIVAR do Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) definiram 27 índices climáticos para representar comportamentos específicos dos extremos, compreendendo sua frequência, magnitude e persistência. Foram considerados, índices relacionados aos extremos de temperatura e precipitação, o qual se tornaram uma importante ferramenta para avaliar e monitorar as mudanças e acompanhar a evolução dos extremos (ZHANG e YANG, 2004). Desta maneira, foi desenvolvido o software RCLIMDEX para a aplicação dos 27 índices climáticos produzidos pela equipe do ETCCDMI. O RCLIMDEX ganhou notoriedade entre a comunidade científica e é amplamente utilizado para os estudos de extremos climáticos ao redor do mundo, em escalas global, regional e local.

Em escala global, utilizaram o RCLIMDEX para o cálculo dos índices climáticos. Neste estudo, foram utilizadas 2223 séries de observações de temperatura e 5948 séries pluviométricas abrangendo o período de 1951 a 2003 (53 anos) medidas em estações distribuídas ao redor da superfície e dos oceanos. O estudo analisou conjuntamente os eventos extremos climáticos em todo o mundo. Além disso, tiveram como resultados que os índices relacionados a precipitação evidenciaram uma tendência para condições mais úmidas durante todo o século 20 (ALEXANDER et al., 2006).

Em escala regional, foram analisadas possíveis mudanças no regime de precipitação em Pernambuco. Desta maneira, foi utilizado o RCLIMDEX em conjunto com os índices de precipitação relacionado ao total anual e o número de dias chuvosos consecutivos. Como resultado, foi observado tendências de aumento da precipitação, mas com redução dos dias chuvosos consecutivos, ou seja, ocorrência de eventos com chuvas intensas. (FARIAS e NÓBREGA, 2010) .

Santos et al. (2011) analisaram as tendências de precipitação extrema com os índices proposto pela ETCCDMI no estado de Utah (Estados Unidos). Além dos índices da ETCCDMI, a regressão linear e o software RCLIMDEX foram utilizados

para análise. Em Utah, após um controle de qualidade, foram utilizadas 35 estações meteorológicas abrangendo um período de registros de 1970 a 2006 (35 anos). As significâncias estatísticas foram verificadas de acordo com o teste t de Student. No entanto, a precipitação na região de Utah apresentou alta variabilidade espacial e pouca significância estatística, o que impediu aos autores concluir se houve mudanças no padrão da precipitação na região.

2.3. INTERAÇÃO OCEANO-ATMOSFERA

O El Niño Oscilação Sul (ENOS) é um fenômeno de escala global que está associado há uma forte interação oceano-atmosfera existente no Oceano Pacífico Tropical (WANG et al., 2017). O ENOS consiste em uma componente atmosférica e uma oceânica em sua composição. A componente oceânica é representada pelas anomalias positivas (El Niño) e negativas (La Niña) na Temperatura da Superfície do Oceano Pacífico (TSM) e causam oscilações na pressão atmosférica ao nível da superfície (TEDESCHI et al., 2015). Estas oscilações modulam o comportamento da circulação atmosférica e consequentemente há uma intensificação dos extremos climáticos, como secas, inundações, mudanças na frequência e intensidade da precipitação, além de apresentar variações no clima regional e global (SHIMIZU et al., 2017; RAO e REN, 2017). Por outro lado, a componente atmosférica, é representada pela Oscilação Sul (OS) em que é definida como variações no campo barométrico entre as áreas da Alta Subtropical do Pacífico Sudeste e a Baixa Pressão da Indonésia. As medições OS são feitas pelo Índice de Oscilação Sul (IOS) em que é definido como a diferença normalizada de pressão atmosférica entre duas regiões distintas, Darwin, no norte da Austrália e Taiti, na Polinésia Francesa (SIQUEIRA e MOLION al., 2015).

Em geral, as séries temporais de dados suavizados do IOS representam de maneira satisfatória as oscilações no comportamento nas temperaturas dos oceanos no Pacífico tropical oriental. A fase fria da OS é representada pelo IOS positivo, em que a pressão atmosférica em Taiti é maior que a média climatológica da região, enquanto em Darwin a pressão é inferior à média. Nestas condições, há a ocorrência de movimentos ascendentes de ar sobre a Indonésia (POWER e KOCIUBA, 2011). Por outro lado, a fase quente da OS, a pressão atmosférica apresenta características opostas

a fase fria. Em resposta a este cenário climático, há a atuação de um intenso centro de baixa pressão nas proximidades do Taiti e um centro de alta pressão nas regiões da Indonésia e Norte da Austrália (Darwin). (SOUZA e REBOITA, 2021). Valores positivos de IOS coincidem com águas anormalmente frias do oceano em todo o Pacífico tropical oriental, típico dos episódios de La Niña, enquanto os valores negativos do IOS coincidem com episódios de El Niño (FIGURA 1).

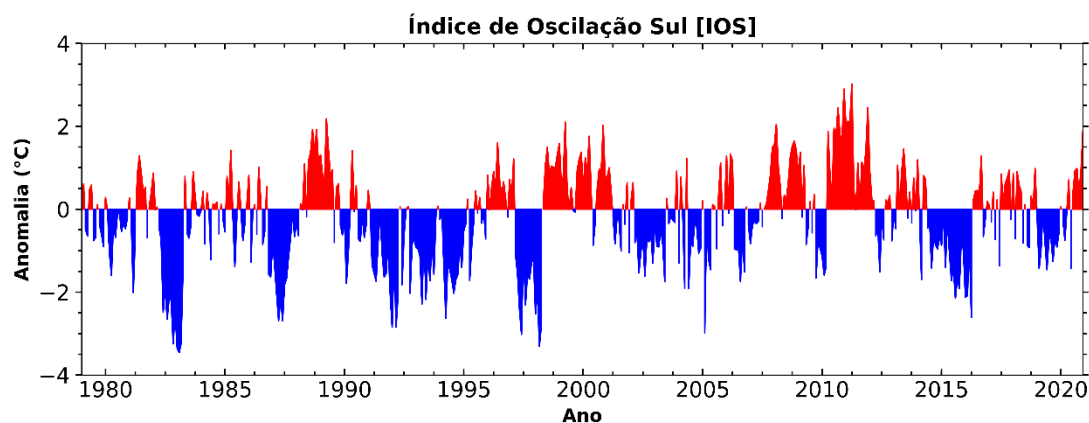


FIGURA 1 - Série temporal do Índice de Oscilação Sul (IOS) referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro 2020.

Além do IOS para monitoramento dos fenômenos de El Niño e La Niña, o Índice Multivariado do ENOS (MEI) é definido com base em uma técnica de componente principal não rotacionada associada a combinação de seis variáveis climáticas de superfície observadas sobre o Oceano Pacífico Equatorial. As variáveis utilizadas são: Pressão no nível do mar, temperatura da superfície do mar, temperatura da superfície, ventos zonais e meridionais, e fração total de nebulosidade em que é calculada a partir de doze estações bimensais. Este índice é obtido através da normalização da variância total de cada variável observada e posteriormente é extraída a primeira componente principal da matriz de covariância das variáveis climáticas observadas (SOUZA e REBOITA, 2021). O MEI apresenta valores positivos nos episódios de El Niño e negativos em eventos de La Niña (FIGURA 2) (VALDEZ-CEPEDA et al., 2020).

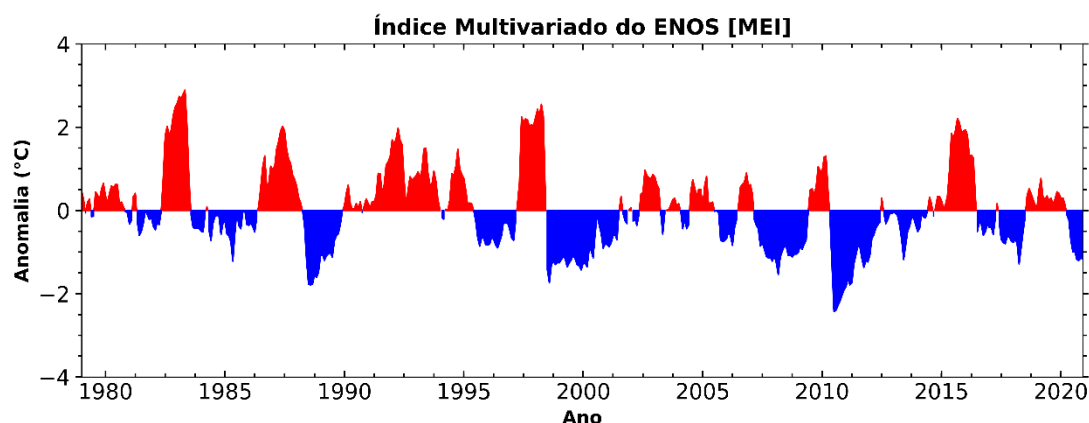


FIGURA 2 – Série temporal do Índice Multivariado do ENOS (MEI) referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro de 2020.

O centro de estudos climáticos da NOAA, utiliza o índice *Oscillation Niño Index* (ONI) em que é um parametro que verifica as anomalias de TSM no Oceano Pacífico através de uma média móvel de tres meses para a região de Niño 3.4 (5N-5S,170W-120W) (FIGURA 3) . O índice ONI é o principal meio de identificação dos eventos de El Niño e La Niña no Oceano Pacífico Tropical utilizada pela NOAA (OLIVEIRA, 2019).

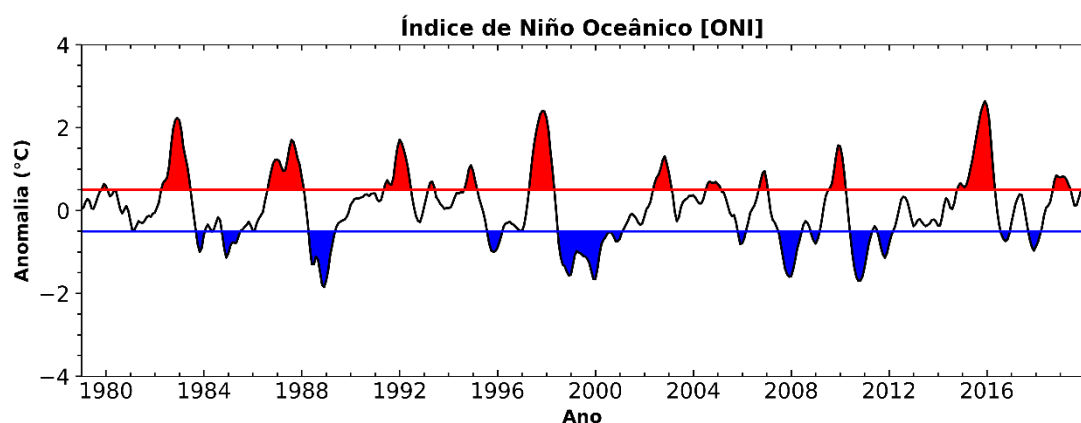


FIGURA 3 – Série temporal do Oscillation Niño Index (ONI) referente ao período de janeiro de 1979 a dezembro de 2019.

Em anos normais (sem eventos ENOS), os ventos alísios sopram de Oeste para Leste ao longo do Pacífico Equatorial, o qual acumula água aquecida pela radiação solar na superfície do Oceano Pacífico tropical perto da Austrália e Indonésia. Nestas condições, a atmosfera é aquecida criando condições suscetíveis a convecção e precipitação. Desta maneira, nos níveis mais elevados da atmosfera (troposfera), os ventos sopram de Leste para Oeste, realizando os movimentos de circulação

atmosférica de larga escala denominada de Célula de Circulação de Walker (FIGURA 4) (CPTEC, 2021).

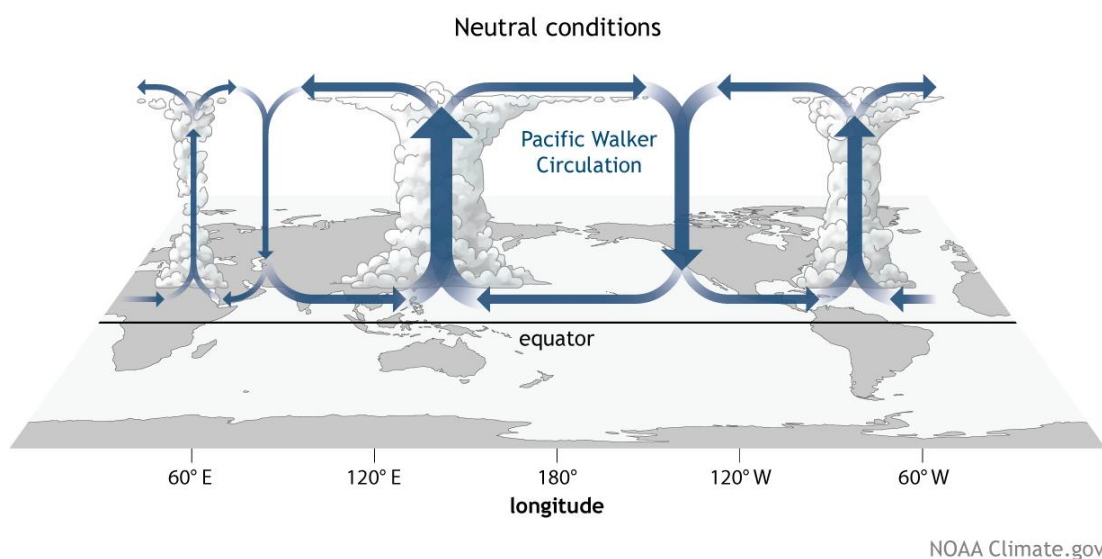


FIGURA 4 – Célula de Circulação de Walker em condições neutras.

FONTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

Eventos de El Niño são caracterizados pelo aquecimento anormal das águas superficiais do Oceano Pacífico, enfraquecimento dos ventos alísios, sistemas anômalos de baixa pressão associada a alta atividade convectiva no Pacífico central-leste e alta pressão anômala e movimento subsidente no Pacífico Oeste, Indonésia e Austrália (FREITAS et al., 2017). Por outro lado, eventos de La Nina apresentam características opostas ao El Nino (LI et al., 2015).

Eventos ENOS apresentam grande influência sobre a variabilidade da precipitação, o qual a atuação destes fenômenos impacta no posicionamento longitudinal dos movimentos ascendentes da Célula de Circulação de Walker. Em ocorrências de El Niño, os ramos ascendentes se posicionam sobre as águas aquecidas do Oceano Pacífico proporcionando subsidência e alta pressão sobre a região Norte da América do Sul (FIGURA 5). Este deslocamento causa um bloqueio atmosférico na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Sistemas Frontais do Hemisfério Sul (SFHS) e Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que podem provocar secas severas em diversas regiões (CAVALCANTI et al., 2017; RODRIGUES et al., 2019).

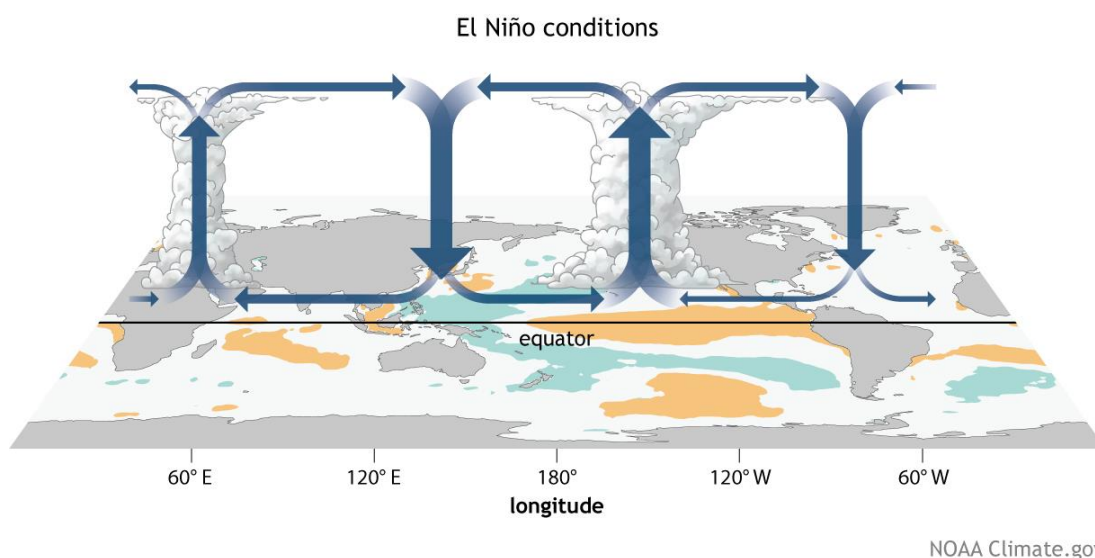


FIGURA 5 – Célula de Circulação de Walker em condições de El Niño. As cores nos oceanos representam anomalias de temperatura na superfície. A cor laranja representa anomalia quente (anomalia positiva) e a cor azul, anomalia fria (anomalia negativa).

FONTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

No entanto, episódios de La Niña reforçam as condições normais do oceano e da atmosfera na região tropical do Oceano Pacífico, o qual intensifica os ventos alísios e consequentemente os ramos ascendentes da Célula de Walker sobre os continentes (FIGURA 6), o que favorece em um aumento dos totais pluviométricos (RAO et al., 2016).

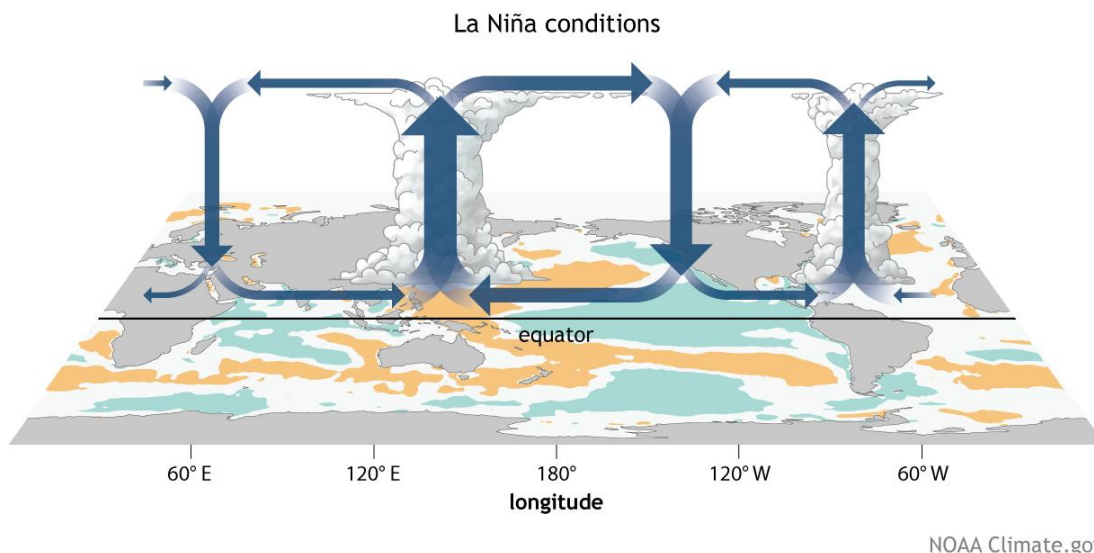


FIGURA 6 – Célula de Circulação de Walker em condições de La Niña. As cores nos oceanos representam anomalias de temperatura na superfície. A cor laranja representa anomalia quente (anomalia positiva) e a cor azul, anomalia fria (anomalia negativa).

FONTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)

São observados diferentes impactos na América do Sul e Brasil causados pela fase quente do ENOS (El Niño). O anti-planalto do Peru-Bolívia apresentam períodos de estiagens. Colômbia, noroeste de Peru e Equador são verificados um aumento precipitação e vazão dos rios. No Brasil, nas regiões Norte e Nordeste é observado redução da precipitação e um aumento das secas. Por outro lado, a região Sul do Brasil apresenta aumento nos totais pluviométricos, principalmente na estação da primavera, associado ao aumento da temperatura média. Nas regiões Centro-Oeste e Sudeste há um ponderado aumento das temperaturas médias, no entanto, a precipitação não apresenta algum padrão associado aos impactos causados pelo El Niño (CPTEC, 2021).

A fase fria do fenômeno ENOS (La Niña) implica em diferentes impactos na América do Sul. Aumento da precipitação na Colômbia, redução da precipitação de outubro a dezembro no Oeste do Chile e Argentina, assim como, tendências de diminuição das chuvas no Uruguai e Peru, com potencial de ocasionar secas (CPTEC, 2021). Além disso, os impactos da atuação da La Niña no Brasil se opõem aos efeitos do El Niño. Na região Norte e Nordeste há um aumento dos totais pluviométricos e vazão dos rios, enquanto na porção Sul do país, a tendência é de diminuição da

precipitação. Embora a atuação do El Niño apresente alguns impactos já conhecidos nas regiões Centro-Oeste e Sudeste, os efeitos causados por La Niña são pouco previsíveis e podem variar em cada ocorrência (CPTEC, 2021).

Eventos de El Niño ou La Niña resultam em anomalias de TSM no Oceano Atlântico tropical, o que leva a um padrão de anomalias entre os setores Norte e Sul do Atlântico (RODRIGUES et al., 2011), denominado como Dipolo do Atlântico (CARPENEDO, 2018) (FIGURA 7). O Dipolo do Atlântico apresenta um gradiente meridional inter-hemisférico, o qual apresenta duas fases em sua composição.

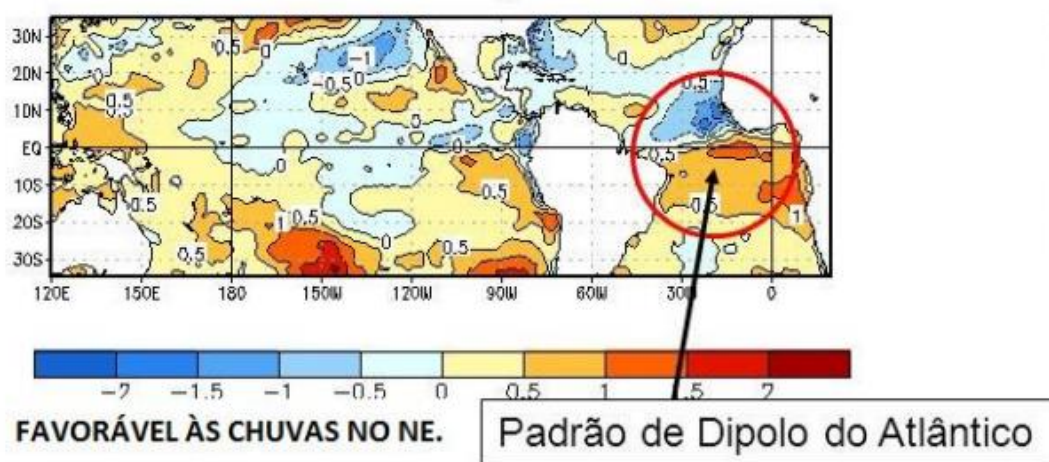


FIGURA 7 – Padrão de anomalias da TSM denominadas de Dipolo do Atlântico observado em maio de 2009.

FONTE: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

A fase positiva apresenta a TSM mais quentes no Atlântico Norte e mais frias no Atlântico Sul. Este comportamento, observa-se uma circulação direta com ramo ascendente sobre regiões onde as anomalias da TSM são positivas (quentes), e descendente onde as TSM são negativas (frias). A combinação desta circulação associadas a diminuição dos fluxos evaporativos e de convergência de umidade são responsáveis por influenciarem em condições de secas na Amazônia e no norte do Nordeste brasileiro (NEB) (SILVA e KOUSKY, 2012).

Por outro lado, a fase negativa do Dipolo do Atlântico apresenta comportamento oposto a fase positiva, com TSM mais quente no setor Sul do Oceano Atlântico e mais frias no setor Norte. Quando o Dipolo do Atlântico está em sua fase negativa, o gradiente inter-hemisférico associado a padrões anômalos de pressão e

vento influenciam na intensidade e deslocamento orientado no sentido norte/sul da ZCIT no Oceano Atlântico (SANTOS, 2015). Esta configuração influencia no clima e distribuição espacial e temporal precipitação em áreas continentais como leste da Amazônia e o NEB (CARPENEDO, 2018).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ÁREA DE ESTUDO

O Centro-Oeste brasileiro está localizado na parte central da América do Sul, sendo composto pelos estados de Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Goiás (GO) e Distrito Federal (DF), possui área de aproximadamente 135.426.449 km² e o relevo varia de 47 a 1674 m (FIGURA 8). O Centro-Oeste abrange o Cerrado (Savana brasileira) (56.8%), Amazônia (30.0%), Pantanal (9.4%) e Mata Atlântica (3.8%). O clima da região é influenciado pelos gradientes de temperatura e precipitação que levam a formação de diversas zonas climáticas de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013).

O clima da região Norte de Mato Grosso é Am (clima tropical úmido ou sub-úmido) e na região Central e Sul o clima é Aw (clima tropical com inverno seco). Em Mato Grosso do Sul ao Norte e Oeste o clima é Aw, ao Sul e Sudoeste é Cfa (clima subtropical úmido com verão quente) e no Leste é Cwa (subtropical úmido com inverno seco e verão úmido) (PEE et al., 2007). Em Goiás o clima predominante é Aw, na região Sudeste o clima é temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa) e ao Sul o clima é temperado úmido com inverno seco e verão temperado (Cwb) (ROMERO et al., 2013).

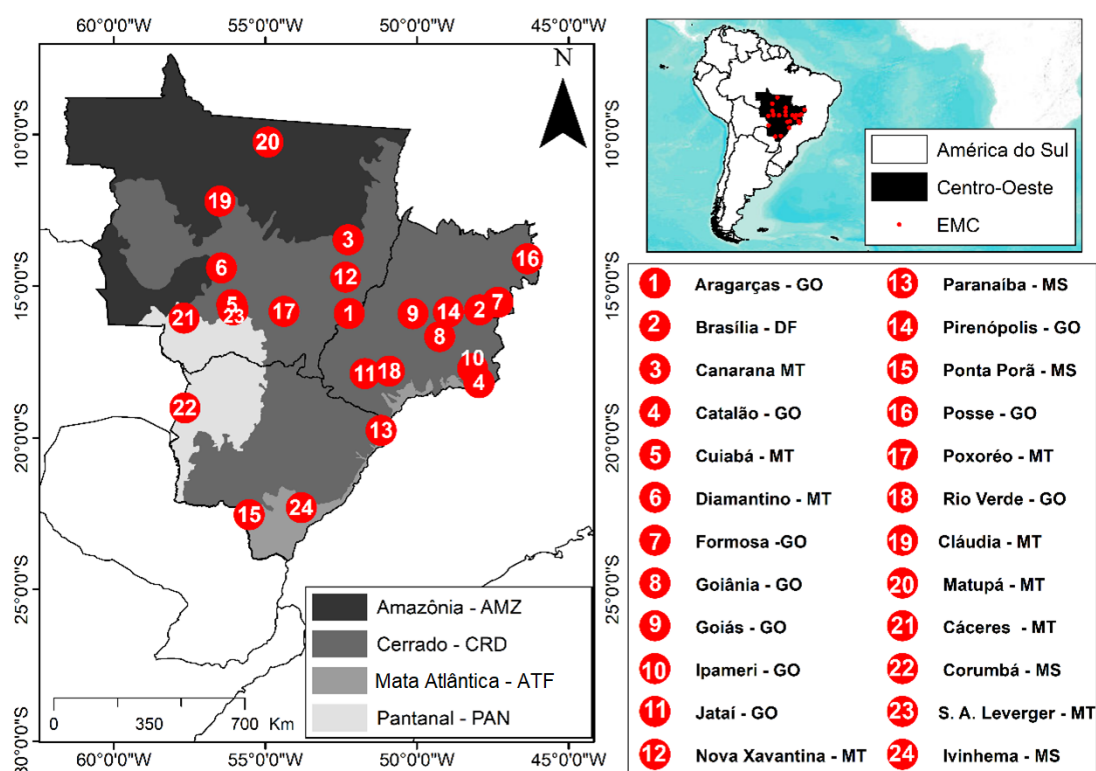


FIGURA 8 – Distribuição espacial das Estações Meteorológicas Convencionais (EMC) utilizadas para avaliar as tendências dos índices extremos climáticos para a região Centro Oeste do Brasil.

3.2. DADOS

Os dados de precipitação e temperatura do ar (máxima e mínima) foram coletados em 24 estações meteorológicas convencionais no período de 1979 a 2019, os quais foram baixados do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), que é pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) [<http://www.inmet.gov.br/porta/index.php?r=bdmep/bdmep>] (TABELA 1). Além disso, foram utilizados dados de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) durante 1979 a 2019, disponibilizados no site do Climate Prediction Center (<https://psl.noaa.gov/data/climateindices/list/>), pertencentes a National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

TABELA 1 – Período de dados disponíveis e localização das estações meteorológicas convencionais utilizadas para avaliar as tendências dos índices extremos climáticos para a região Centro Oeste do Brasil.

Código OMM	Cidade	Latitude	Longitude	Elevação (m)	Período
83368	Aragarças – GO	-15.9	-52.23	345.00	1979-2019
83377	Brasília – DF	-15.78	-47.93	1159.54	1979-2019
83270	Canarana – MT	-13.47	-52.27	430.00	1988-2019
83405	Cáceres – MT	-16.05	-57.68	118.00	1979-2014
83526	Catalão – GO	-18.18	-47.95	840.47	1979-2014
83552	Corumbá – MS	-19.01	-57.65	130.00	1979-2019
83361	Cuiabá – MT	-15.61	-56.1	145.00	1979-2019
83309	Diamantino – MT	-14.4	-56.45	286.30	1979-2019
83379	Formosa – GO	-15.53	-47.33	935.19	1979-2019
83264	Cláudia – MT	-12.2	-56.5	415.00	1979-2014
83423	Goiânia – GO	-16.66	-49.25	741.48	1979-2019
83374	Goiás – GO	-15.91	-50.13	512.22	1979-2017
83522	Ipameri – GO	-17.71	-48.16	772.99	1979-2019
83704	Ivinhema – MS	-22.3	-53.81	369.20	1979-2013
83464	Jataí – GO	-17.88	-51.71	662.86	1979-2019
83214	Matupá – MT	-10.25	-54.91	285.00	1987-2019
83319	N. Xavantina – MT	-14.7	-52.35	316.00	1988-2019
83364	Santo Antônio de Leverger – MT	-15.78	-56.06	140.00	1987-2019
83565	Paranaíba – MS	-19.75	-51.18	331.25	1979-2019
83376	Pirenópolis – GO	-15.85	-48.96	740.00	1979-2019
83702	Ponta Porã – MS	-22.53	-55.53	650.00	1979-2015
83332	Posse – GO	-14.1	-46.36	825.64	1979-2019
83358	Poxoréo – MT	-15.83	-54.38	450.00	1979-2019
83470	Rio Verde – GO	-17.8	-50.91	774.62	1979-2019

3.3. RCLIMDEX

O RCLimDex (versão 1.0) utiliza linguagem R e foi desenvolvido pelo Departamento de Pesquisa do Serviço Meteorológico do Canadá (CMS) (ZHANG e YANG, 2004). Esse software apresenta interface gráfica para computação dos 27 índices extremos climáticos derivados de temperatura e precipitação. Nesse estudo

foram calculados 22 índices extremos, em que 11 são derivados da precipitação e 11 referente a temperatura do ar (TABELA 2).

TABELA 2 – Descrição dos índices extremos climáticos de temperatura e precipitação utilizadas para avaliar as tendências dos índices extremos climáticos para a região Centro Oeste, Brasil. Tmáx: Temperatura Máxima; Tmín: Temperatura Mínima; RR: quantidade diária de precipitação em um dia.

Índices de Temperatura				
Grupo	Índice	Sigla	Definição	Unidade
Absoluto	Maior Temperatura Máxima Anual	TXx	Valor máximo mensal da Tmáx diária	°C
	Maior Temperatura Mínima Anual	TNx	Valor máximo mensal da Tmin diária	°C
	Menor Temperatura Máxima Anual	TXn	Valor mínimo mensal da Tmáx diária	°C
	Menor Temperatura Mínima Anual	TNn	Valor mínimo mensal da Tmin diária	°C
	Amplitude da temperatura diurna	DTR	Tmáx diária - Tmin diária	°C
	Duração das ondas de calor	WDSI	Número de dias no ano com pelo menos 6 dias consecutivos de Tmáx superior ao percentil 90	Dias
	Duração das ondas de frio	CSDI	Número de dias no ano com pelo menos 6 dias consecutivos de Tmin inferior ao percentil 10	Dias
	Dias quentes	TX90p	% de dias em que a Tmáx > 90 percentil	%
Percentil	Noites quentes	TN90p	% de dias em que a Tmin > 90 percentil	%
	Dias frios	TX10p	% de dias em que a Tmáx < 10 percentil	%
	Noites frias	TN10p	% de dias em que a Tmin < 10 percentil	%
Índices de Precipitação				
Grupo	Índice	Sigla	Definição	Unidade
Limiar	Precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm	R10mm	Contagem anual de dias com precipitação ≥ 10 mm	Dias
	Precipitação de um dia igual ou superior a 20 mm	R20mm	Contagem anual de dias com precipitação ≥ 20 mm	Dias

Absoluto Int / Qua Duração	Precipitação de um dia igual ou superior a 50 mm	R50mm	Contagem anual de dias com precipitação ≥ 50 mm	Dias
	Quantidade máxima de precipitação em um dia	Rx1day	Máximo anual de precipitação em 1 dia	mm
	Quantidade máxima de precipitação em cinco dias	Rx5day	Máximo anual de precipitação em 5 dias consecutivos	mm
	Precipitação total anual nos dias úmidos	PRCPTOT	Precipitação total anual nos dias úmidos ($RR \geq 1$ mm)	mm
	Índice simples de intensidade de precipitação	SDII	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos	mm/dia
	Dias muito úmidos	R95p	Precipitação anual total em que $RR > 95$ percentil	mm
	Dias extremamente úmidos	R99p	Precipitação anual total em que $RR > 99$ percentil	mm
	Dias consecutivos úmidos	CWD	Número máximo de dias consecutivos com $RR \geq 1$ mm	Dias
	Dias consecutivos secos	CDD	Número máximo de dias consecutivos com $RR \leq 1$ mm	Dias

Estes índices foram propostos pela equipe de especialistas do CCI/CLIVAR do Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices (ETCCDMI) para monitoramento e detecção de mudanças climáticas (ZHANG e YANG, 2004). O RClimDex apresenta um controle de qualidade para calcular os índices extremos climáticos, em que consiste em identificar a homogeneidade do banco de dados. Para realizar essas análises são utilizados dados diários de temperatura máxima, temperatura mínima e precipitação, o qual são submetidos a um processo de verificação de dados ausentes e identificação de possíveis outliers que é dado pela média $\pm n * \text{Desvio Padrão (STD)}$ das amostras.

Para cada índice calculado o RClimDex fornece resultados estatísticos como a tendência definida pelo método da regressão linear associado aos mínimos quadrados

(inclinação da reta) com o nível de significância estatística, o coeficiente de determinação R^2 e o erro padrão da estimativa. O RCLIMDEX calcula um subconjunto de índices de tendências em escala anual e mensal.

3.4. ANÁLISE DOS DADOS

As tendências monotônicas dos índices extremos climáticos foram calculadas através do teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK) (MANN, 1957; KENDALL, 1975). Um valor do teste MK positivo indica tendência de aumento, enquanto um valor negativo indica tendência de diminuição. No entanto, o teste de MK apresenta como pressuposto que a série temporal possua dados independentes e aleatoriamente distribuídos.

A independência da série de dados foi verificada a partir da Função de Autocorrelação (ACF). Portanto, para os dados que apresentaram autocorrelação (correlação serial) foi empregado o teste Modificado de Mann-Kendall (MMK) proposto por Hamed e Rao (1998) (BARI et al., 2016). A magnitude das tendências dos índices extremos climáticos foi calculada a partir do método de Theil-Sen (SEN et al., 1968). Este método é insensível a outliers e pode ser significativamente mais preciso do que a regressão linear simples para dados distorcidos e heterocedásticos (MENGISTU et al., 2020).

A Função Densidade de Probabilidade (PDF) de Kernel, representa um estimador probabilístico não-paramétrico, em que as entradas para aplicação desse método são as ocorrências da variável (CAMARA, CARVALHO; 2004). As PDFs foram utilizadas para verificar eventuais mudanças na média, variabilidade e assimetria das distribuições dos dados decadais em relação ao comportamento dos índices extremos de temperatura do ar e precipitação.

Os dados de anomalias da temperatura da superfície do mar (TSM) na região dos oceanos Pacífico (FIGURA 9A) e Atlântico (FIGURA 9B) foram utilizados para avaliar a correlação entre os índices extremos climáticos no Centro-Oeste brasileiro e os eventos de anomalias nas áreas Niño 1+2 (0-10S, 90W-80W), Niño 3 (5N-5S, 150W-90W), Niño 3.4 (5N-5S, 170W-120W), Niño 4 (5N-5S, 160E-150W), ONI (5N-5S, 170W-120W), TNAI (5.5N-23.5N, 15W-57.5W) e TSAI (Equador-20S, 10E-30W). O índice de Niño Oceânico (ONI) foi usado para monitorar a atividade do

ENOS e utiliza a mesma região que o índice Niño 3.4. O ONI foi calculado a partir da média móvel de 3 meses das anomalias de TSM provenientes do *NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (SST) V5* (HUANG et al., 2017).

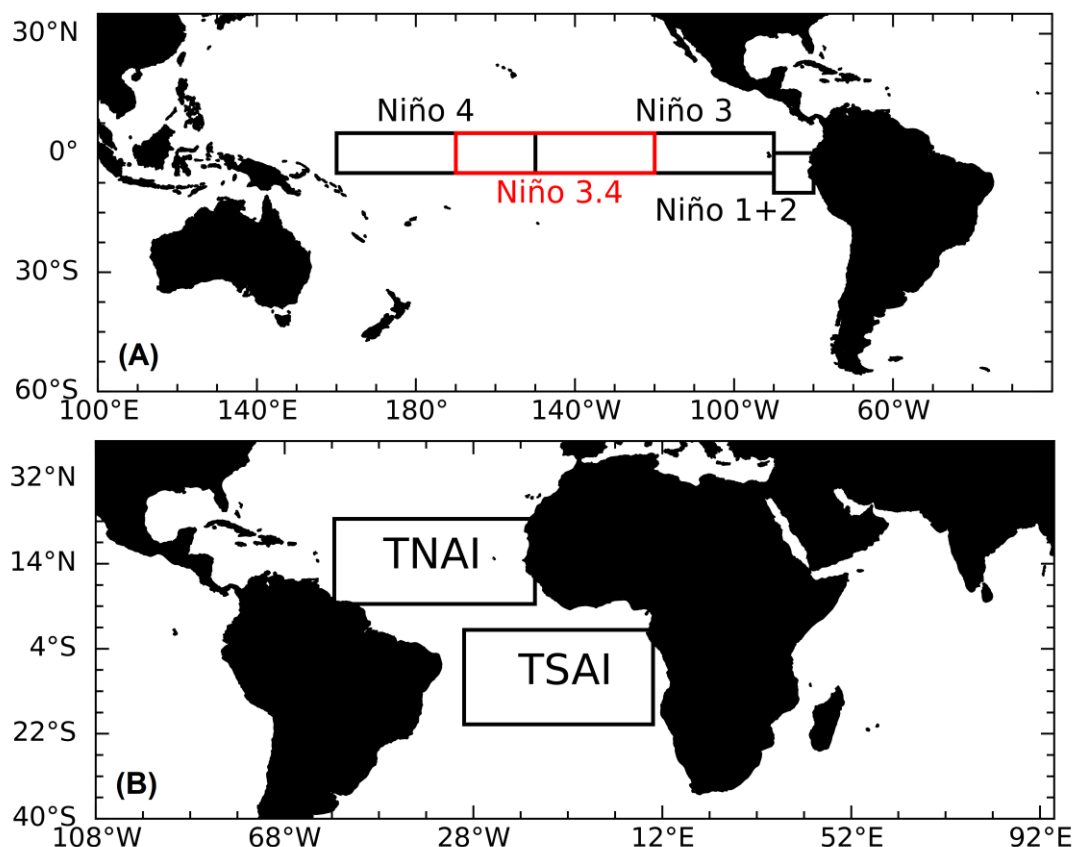


FIGURA 9 – Localização das áreas de atuação do fenômeno ENOS no Oceano Pacífico Equatorial (A), Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4, Niño 4 mais as regiões do Oceano Atlântico Tropical usadas para o cálculo dos índices TNAI e TSAI (B), associados ao padrão de dipolo de anomalias das temperaturas do Oceano Atlântico utilizadas para as correlações entre os índices extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação.

Para avaliar o grau de relação existente entre os índices extremos climáticos médios de temperatura do ar e precipitação com as anomalias anuais da TSM foi utilizado o método de correlação de Pearson (SANTOS et al., 2016). A significância estatística das correlações foi obtida pelo teste t-Student. Em que, correlações entre variáveis de características diferentes, o número efetivo de graus de liberdade (EDOF) pode ser estimado a partir de propriedades autorregressivas em ambos os bancos de dados (BOMBARDI e CARVALHO, 2017; LIU et al., 2017). Dessa forma, o EDOF foi estimado a partir do método proposto por Bretherton et al. (1999) (Equação 1).

$$EDOF = N \times \frac{1 - y_1 \times y_2}{1 + y_1 \times y_2} \quad (1)$$

onde, N representa o tamanho da série temporal e y_1 e y_2 é o valor do lag 1 da autocorrelação de cada série, respectivamente.

4. RESULTADOS

Os dias quentes e a máxima temperatura anual apresentaram tendência positiva significativa em 96% e 92% dos locais de estudo, respectivamente (TABELA 3). Além disso, as menores tendências positivas significativas ocorreram para a maior temperatura mínima anual (46%) e duração de ondas de calor (21%) nos locais de estudo. Por outro lado, os dias frios apresentaram tendências negativas significativas em 79% dos locais de estudo e as noites frias em 62%. A duração das ondas de calor e frio não apresentaram tendências significativas em 58% e 46% dos locais de estudo, respectivamente (TABELA 3).

As maiores tendências positivas significativas ocorreram para o índice simples de intensidade de precipitação (50%) e para a precipitação de um dia igual ou superior a 50 mm (25%) (TABELA 3). No entanto, as menores tendências positivas significativas foram para a precipitação total (4,2%) e precipitação de um dia igual ou superior a 20 mm (8,3%). Por outro lado, as tendências negativas significativas foram maiores para os dias consecutivos com chuva (38%) e precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm (25%), no entanto, foram menores para o índice simples de intensidade de precipitação (4%) e dias extremamente úmidos (4%) (TABELA 3).

TABELA 3 – Percentagem de tendências significativas, não-significativas e de não-tendência dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação em relação aos locais de estudo a partir do teste de Mann-Kendall durante 1979 a 2019 para a região Centro-Oeste do Brasil.

Índice	Tendência positiva não significativa	Tendência positiva significativa (%)	Tendência negativa não significativa (%)	Tendência negativa significativa (%)	Sem tendência (%)	Sem tendência significativa (%)
CDD	75,0	12,5	8,3	0,0	4,2	0,0
CSDI	0,0	0,0	0,0	0,0	54,2	45,8
CWD	4,2	0,0	41,7	37,5	16,7	0,0

DTR	29,2	62,5	8,3	0,0	0,0	0,0
PRCPTOT	33,3	4,2	45,8	16,7	0,0	0,0
R10mm	12,5	0,0	58,3	25,0	4,2	0,0
R20mm	37,5	8,3	20,8	8,3	25,0	0,0
R50mm	16,7	25,0	4,2	0,0	54,2	0,0
R95p	45,8	29,2	25,0	0,0	0,0	0,0
R99p	16,7	25,0	4,2	4,2	50,0	0,0
RX1day	58,3	16,7	25,0	0,0	0,0	0,0
RX5day	45,8	20,8	20,8	12,5	0,0	0,0
SDII	25,0	50,0	12,5	4,2	8,3	0,0
TN10p	12,5	0,0	25,0	62,5	0,0	0,0
TN90p	33,3	62,5	4,2	0,0	0,0	0,0
TNx	45,8	50,0	4,2	0,0	0,0	0,0
TNx	37,5	45,8	16,7	0,0	0,0	0,0
TX10p	0,0	0,0	20,8	79,2	0,0	0,0
TX90p	4,2	95,8	0,0	0,0	0,0	0,0
TXn	41,7	54,2	4,2	0,0	0,0	0,0
TXx	8,3	91,7	0,0	0,0	0,0	0,0
WSDI	0,0	20,8	0,0	0,0	20,8	58,3

4.1. TENDÊNCIA DOS ÍNDICES EXTREMOS DE TEMPERATURA

Os dias quentes apresentou tendência positiva significativa para todos os locais de estudo, com exceção de Canarana (FIGURA 10A). Os dias quentes apresentou a maior tendência positiva significativa em Cláudia (0,79% ano⁻¹), enquanto a menor tendência foi para Rio Verde (0,15% ano⁻¹). Para quinze locais de estudo houve tendência positiva significativa das noites quentes, sendo superiores em Corumbá (0,46% ano⁻¹) e Formosa (0,42% ano⁻¹), e inferiores em Paranaíba (0,14% ano⁻¹) e Cuiabá (0,18% ano⁻¹) (FIGURA 10B).

Os dias frios (TX10p e noites frias (TN10P) apresentaram tendência negativas significativas em 62,5% e 79,2% dos locais de estudo, respectivamente (FIGURA 10C). As maiores tendências negativas significativas dos dias frios foram em Nova Xavantina (-0,45% ano⁻¹) e Pirenópolis (-0,44% ano⁻¹), no entanto, foi menor para Ivinhema (-0,10% ano⁻¹) e Santo Antônio do Leverger (-0,13% ano⁻¹). As noites frias apresentaram máximas tendências negativas significativas em Cláudia (-0,46% ano⁻¹)

e Matupá ($-0,42\%$ ano $^{-1}$), enquanto Ivinhema ($-0,15\%$ ano $^{-1}$) e Ipameri ($-0,17\%$ ano $^{-1}$) apresentaram as mínimas tendências negativas significativas (FIGURA 10D).

A amplitude da temperatura diurna apresentou tendência significativa positiva em 62,5% dos locais analisados, sendo maior em Nova Xavantina ($0,09\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e menor em Brasília ($0,02\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) (FIGURA 10E). Ressalta-se que o comportamento das tendências da amplitude da temperatura diurna está relacionado diretamente com a variabilidade da maior e menor temperatura máxima e mínima anual.

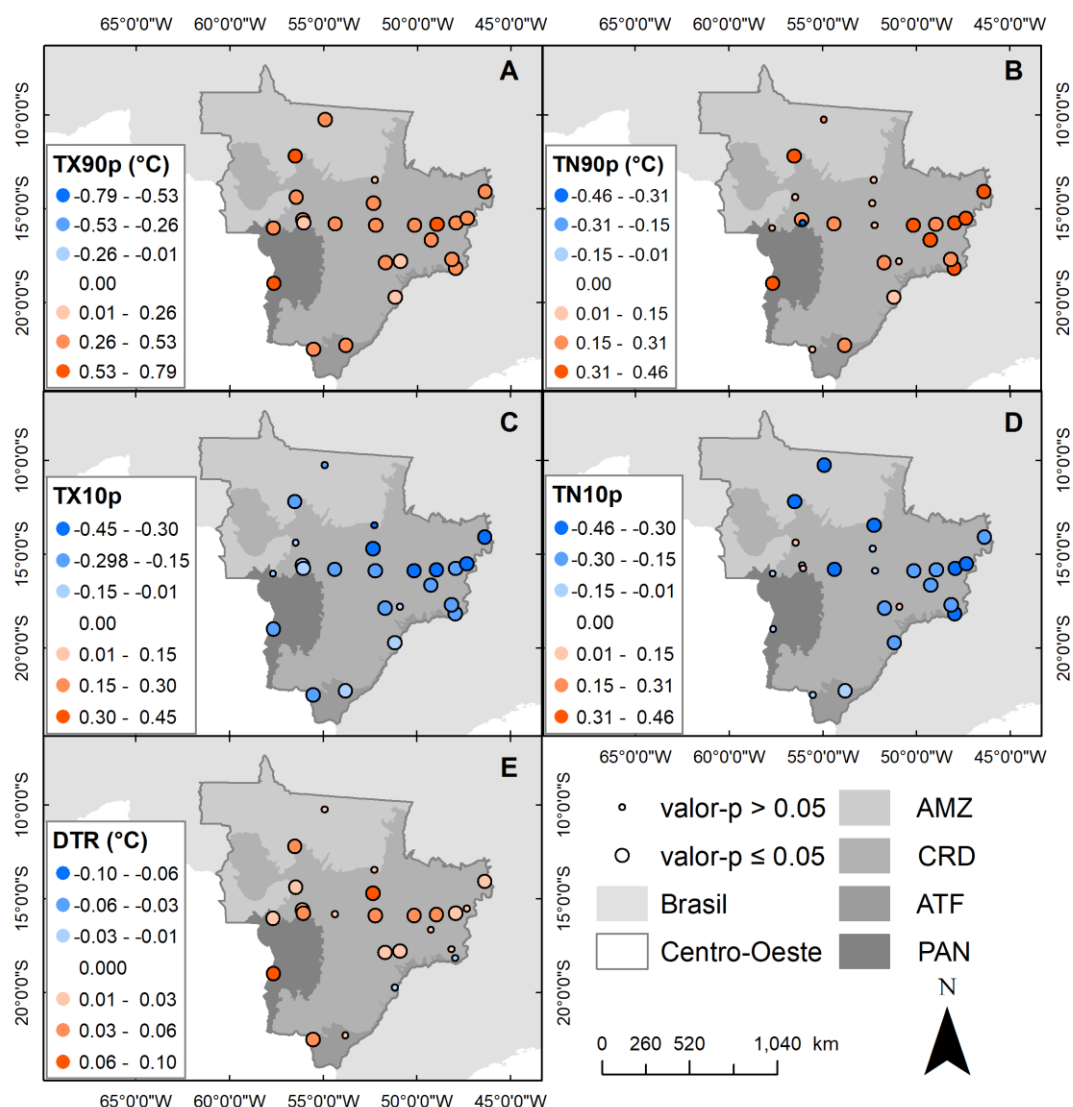


FIGURA 10 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Dias Quentes (TX90p) (A), Noites Quentes (TN90p) (B), Dias Frios (TX10p) (C), Noites Frias (TN10p) (D) e Amplitude da Temperatura Diurna (DTR) (E) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância.

Os índices extremos climáticos de temperatura do ar apresentaram um aumento da frequência anual dos dias e noites quentes durante 1979 a 2019. As distribuições de probabilidade (PDF) para cada subconjunto de tempo (10 anos) indicaram que ocorreu mudanças sistemáticas na média e variância da frequência dos índices extremos de temperatura. Os dias e noites frias apresentaram deslocamentos negativos em suas PDFs, assim como, suas médias diminuíram gradativamente ao longo dos anos (FIGURA 11A e 11C). Por outro lado, os dias e noites quentes apresentaram deslocamento positivo em suas PDFs e aumento nas médias, principalmente nas últimas duas décadas (FIGURA 11B e 11D).

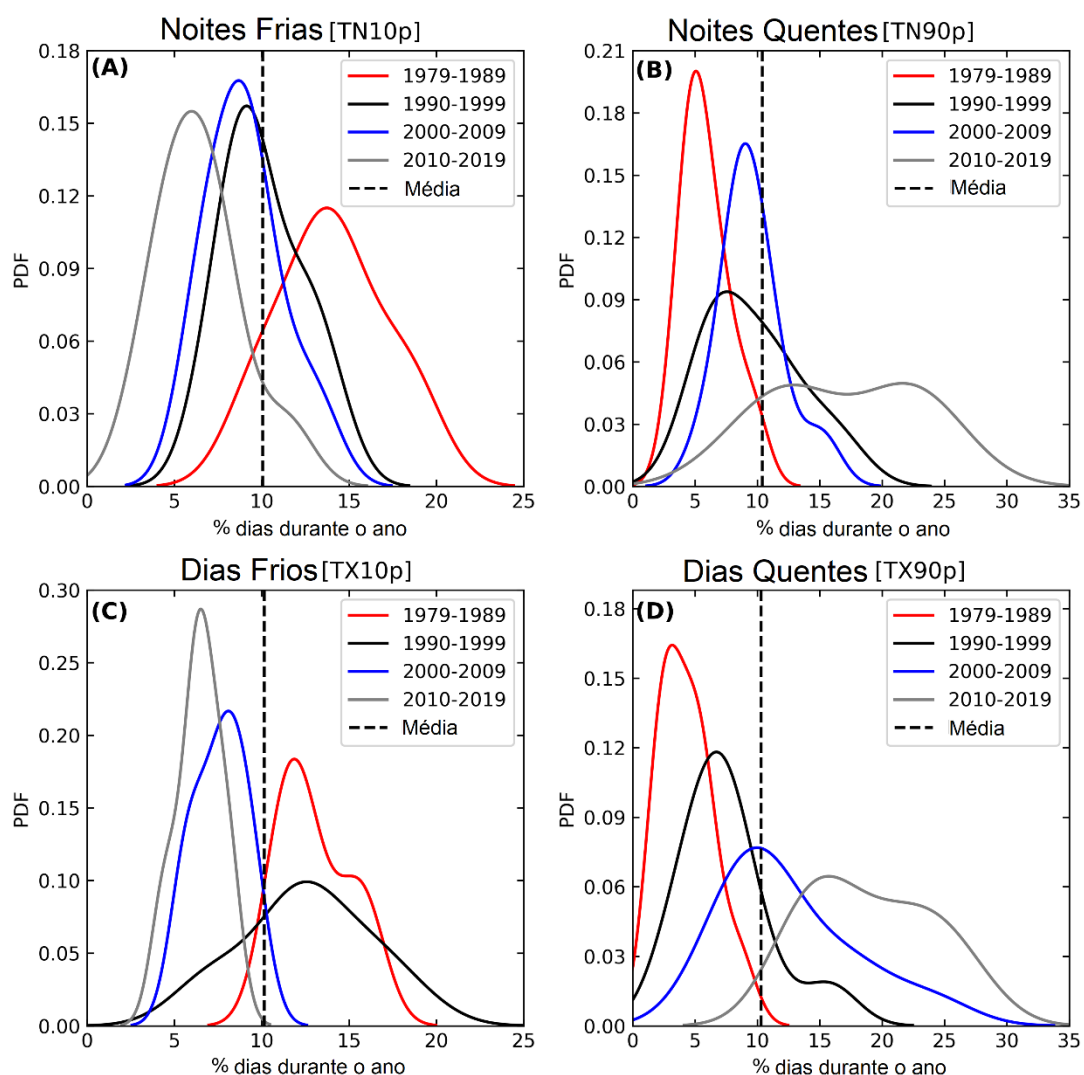


FIGURA 11 – Função densidade de probabilidade (PDF) da frequência anual dos índices de Noites frias (TN10p) (A), Noites quentes (TN90p) (B), Dias frios (TX10p) (C) e Dias quentes (TX90p) (D) em intervalos de dez anos durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil.

A menor temperatura máxima anual apresentou tendência positiva significativa em 54.2% dos locais de estudo (FIGURA 12A). De modo que, a menor temperatura máxima anual foi superior para Nova Xavantina ($0,12\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e inferior para Posse ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) (FIGURA 12A). Além disso, a menor temperatura mínima anual apresentou tendência positiva em 50% dos locais de estudo (FIGURA 12B). Em que, a menor temperatura mínima anual foi superior para Canarana ($0,18\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e inferior para Pirenópolis ($0,04\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) (FIGURA 12B).

A maior temperatura máxima anual apresentou tendências positivas significativas em todos os locais de estudo, com exceção de Matupá e Canarana. Houve tendências da maior temperatura máxima anual em Cláudia ($0,14\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e Poxoréo ($0,11\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$), enquanto as mínimas ocorreram em Diamantino ($0,03\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e Cáceres ($0,04\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) (FIGURA 12C). A maior temperatura mínima anual apresentou tendências positivas significativas em 45,8% dos locais de estudo (FIGURA 12D). A temperatura mínima anual foi superior em Corumbá ($0,08\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e Goiás ($0,07\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e inferior para Jataí ($0,02\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) e Cuiabá ($0,04\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) (FIGURA 12D).

A duração das ondas de calor apresentou tendência positiva significativa em apenas 20.8% dos locais de estudo (FIGURA 12E). Sendo a duração das ondas de calor superior em Corumbá ($0,30\text{ dia ano}^{-1}$) e inferior em Catalão ($0,05\text{ dia ano}^{-1}$) (FIGURA 12E). Por outro lado, a duração das ondas de frio não apresentou tendências significativas (FIGURA 12F).

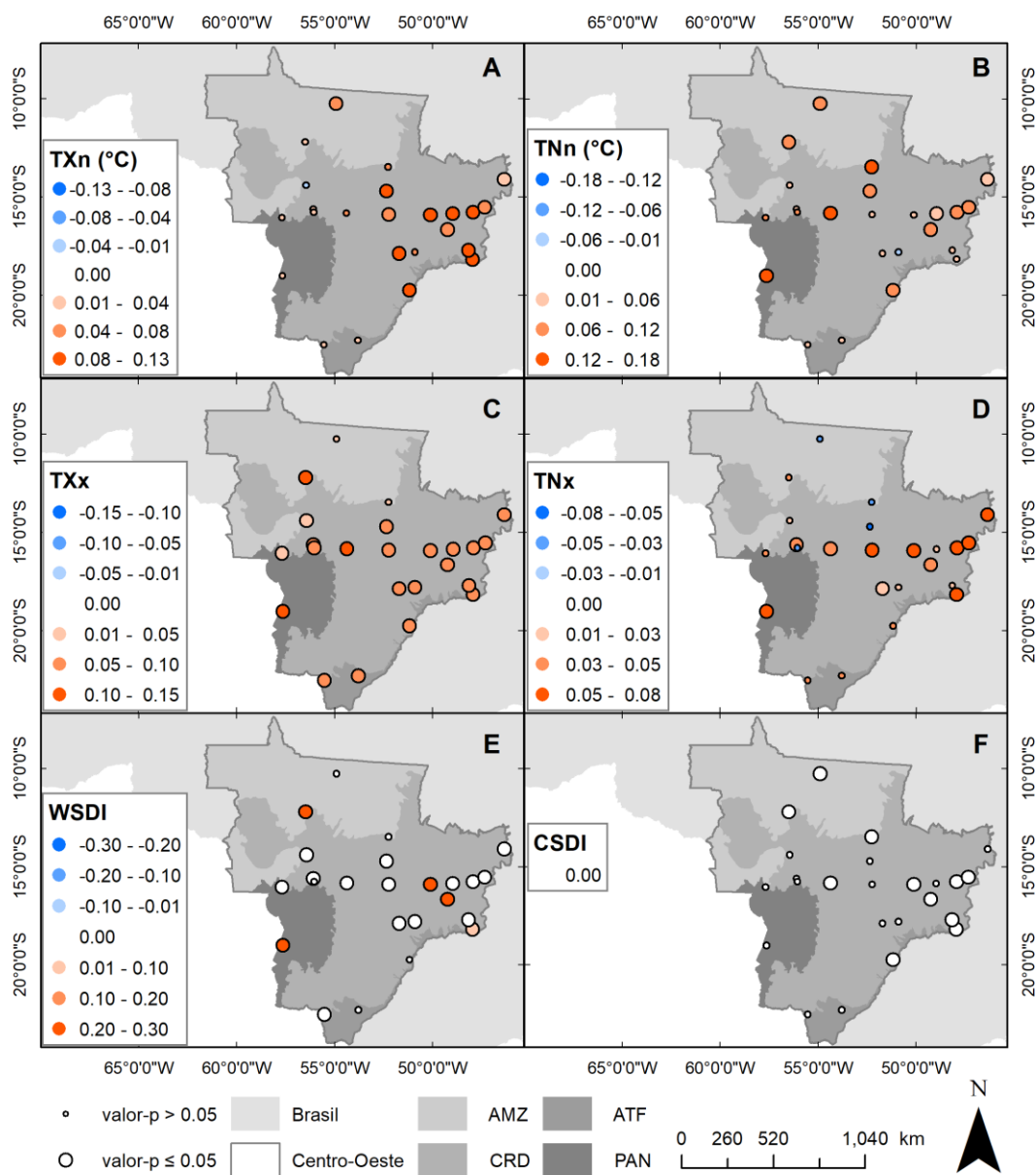


FIGURA 12 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Menor Temperatura Máxima Anual (TXn) (A), Menor Temperatura Mínima Anual (TNn) (B), Temperatura Máxima Anual (TXx) (C), Maior Temperatura Mínima Anual (TNx) (D), Duração das Ondas de Calor (WSDI) (E) e Duração das Ondas de Frio (CSDI) (F) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância.

4.2. TENDÊNCIA DOS ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO

A quantidade máxima de precipitação em um dia apresentou tendência positiva significativa em 16,6% dos locais de estudo (FIGURA 13A). A quantidade máxima de precipitação em um dia foi superior para Matupá ($2,02 \text{ mm ano}^{-1}$) e inferior para Ipameri ($0,71 \text{ mm ano}^{-1}$) (FIGURA 13A). No entanto, a quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos apresentou a maior variação de tendências significativas (FIGURA 13B). No qual, as tendências significativas da quantidade máxima de precipitação em cinco dias consecutivos foram positivas para a região Norte, Central e Sul, enquanto foram negativas para o Leste do Centro-Oeste. Além disso, as maiores tendências positivas e negativas significativas ocorreram em Matupá ($2,99 \text{ mm ano}^{-1}$) e Goiás ($-2,00 \text{ mm ano}^{-1}$), respectivamente (FIGURA 13B).

A precipitação total anual dos dias úmidos apresentou tendência positiva significativa apenas em Diamantino ($6,93 \text{ mm ano}^{-1}$). Por outro lado, a precipitação total anual dos dias úmidos apresentou tendências negativas significativas para a região Leste do Centro-Oeste, com os maiores valores para Goiás ($-17,20 \text{ mm ano}^{-1}$) (FIGURA 13C). O índice simples de intensidade de precipitação apresentou tendências significativas em 54,2% dos locais de estudo, sendo negativa apenas em Goiás ($-0,08 \text{ mm ano}^{-1}$). O índice simples de intensidade de precipitação apresentou as maiores e menores tendências positivas significativas em Matupá ($0,20 \text{ mm ano}^{-1}$) e Ipameri ($0,09 \text{ mm ano}^{-1}$) (FIGURA 13D).

Os dias muito úmidos e extremamente úmidos apresentaram tendências significativas em 29,1% dos locais de estudos. A única tendência negativa significativa dos dias extremamente úmidos ocorreu para Catalão ($-0,82 \text{ mm ano}^{-1}$). Além disso, os dias muito úmidos e extremamente úmidos apresentaram tendências positivas significativas em Matupá ($19,42 \text{ mm ano}^{-1}$ e $7,28 \text{ mm ano}^{-1}$), respectivamente. No entanto, os dias muito úmidos e extremamente úmidos apresentaram as menores tendências significativas em Ipameri ($4,34 \text{ mm ano}^{-1}$) e Ivinhema ($0,63 \text{ mm ano}^{-1}$), respectivamente (FIGURA 13E e 13F).

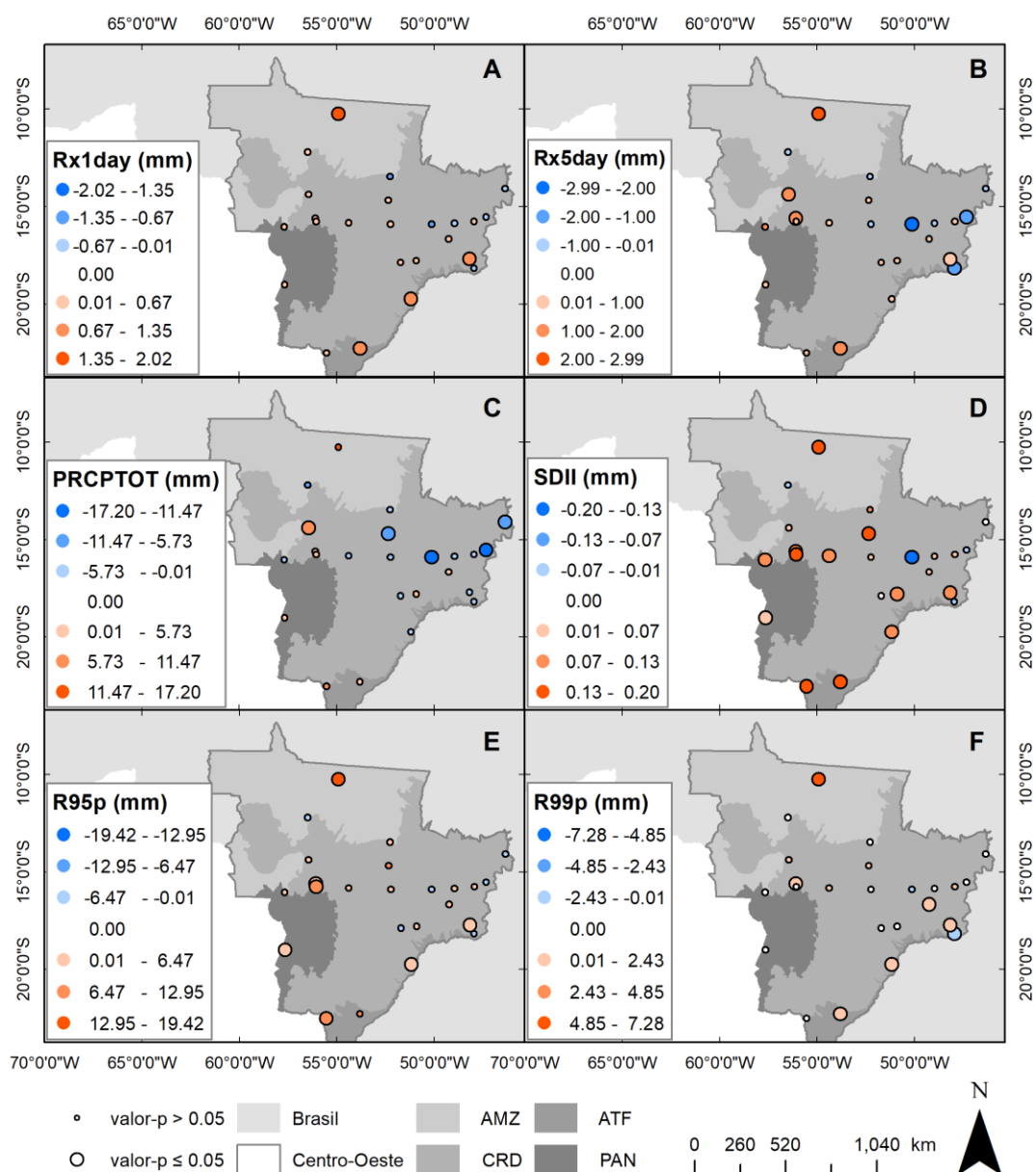


FIGURA 13 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Quantidade máxima de precipitação em um dia (Rx1day) (A), a Quantidade Máxima de Precipitação em Cinco Dias Consecutivos (Rx5day) (B), precipitação total anual dos dias úmidos (PRCPTOT) (C), Índice simples de intensidade de precipitação (SDII) (D), Dias Muito Úmidos (R95p) (E) e Dias Extremamente Úmidos (R99p) (F) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância.

Não houve mudanças abruptas nas curvas de distribuição das PDFs, o que proporcionou uma pequena variação na média e na variância para todos os índices

extremos de precipitação (FIGURA 14A e 14D). No entanto, verificou-se um padrão crescente positivo nas distribuições das PDFs nas últimas duas décadas (FIGURA 14A e 14D). Ressalta-se que as tendências de longo prazo podem ter sido influenciadas pela variabilidade multidecadal dos extremos do sistema climático.

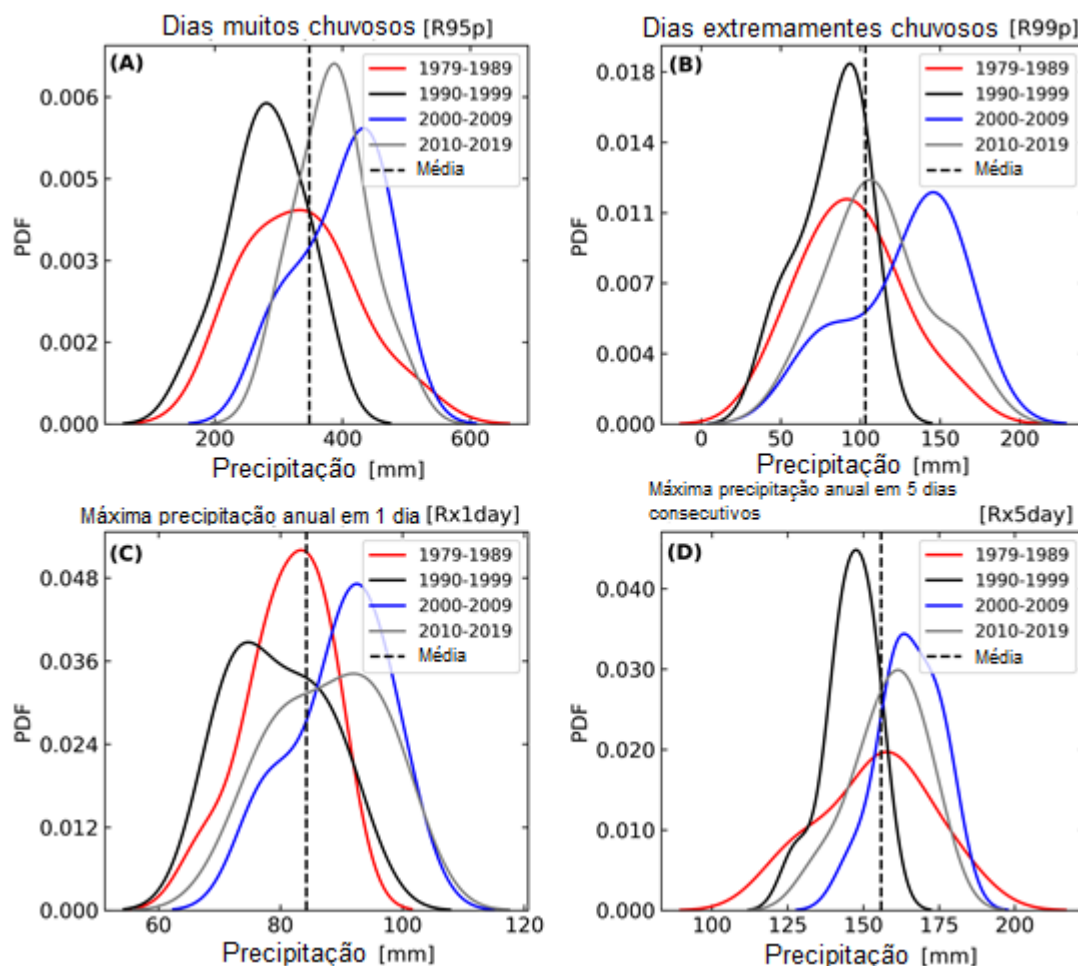


FIGURA 14 – Função densidade de probabilidade (PDF) da frequência anual dos índices de Dias muito chuvosos (R95p) (A), Dias extremamente chuvosos (R99p) (B), Máxima precipitação anual em 1 dia (mm) (Rx1day) (C) e Máxima precipitação anual em 5 dias consecutivos (mm) (Rx5day) (D) em intervalos de dez anos durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil.

A precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm apresentou tendências negativas significativas em 25% dos locais de estudo, sendo observada a maior tendência negativa significativa em Goiás ($0,47 \text{ mm dia ano}^{-1}$) (FIGURA 15A). A precipitação de um dia superior a 20 mm evidenciou apenas quatro tendências significativas, sendo duas positivas e duas negativas (FIGURA 15B). A precipitação

de um dia superior a 50 mm apresentou tendências positivas significativas em 25% dos locais de estudo, sendo superior para Matupá ($0,29 \text{ dia ano}^{-1}$) (FIGURA 15C).

Os dias consecutivos úmidos apresentaram tendências negativas significativas em 37.5% dos locais de estudo, os quais foram distribuídos no sentido oeste-leste da região. Os dias consecutivos úmidos indicaram a maior tendência negativa significativa para Nova Xavantina ($-0,39 \text{ dia ano}^{-1}$) e a menor em Brasília ($-0,07 \text{ dia ano}^{-1}$) (FIGURA 15D). No entanto, o número máximo de dias consecutivos secos apresentou tendências positivas significativas apenas em Canarana, Formosa e Corumbá. Além disso, o número máximo de dias consecutivos secos obteve maior tendência significativa em Canarana ($1,13 \text{ dia ano}^{-1}$) (FIGURA 15E).

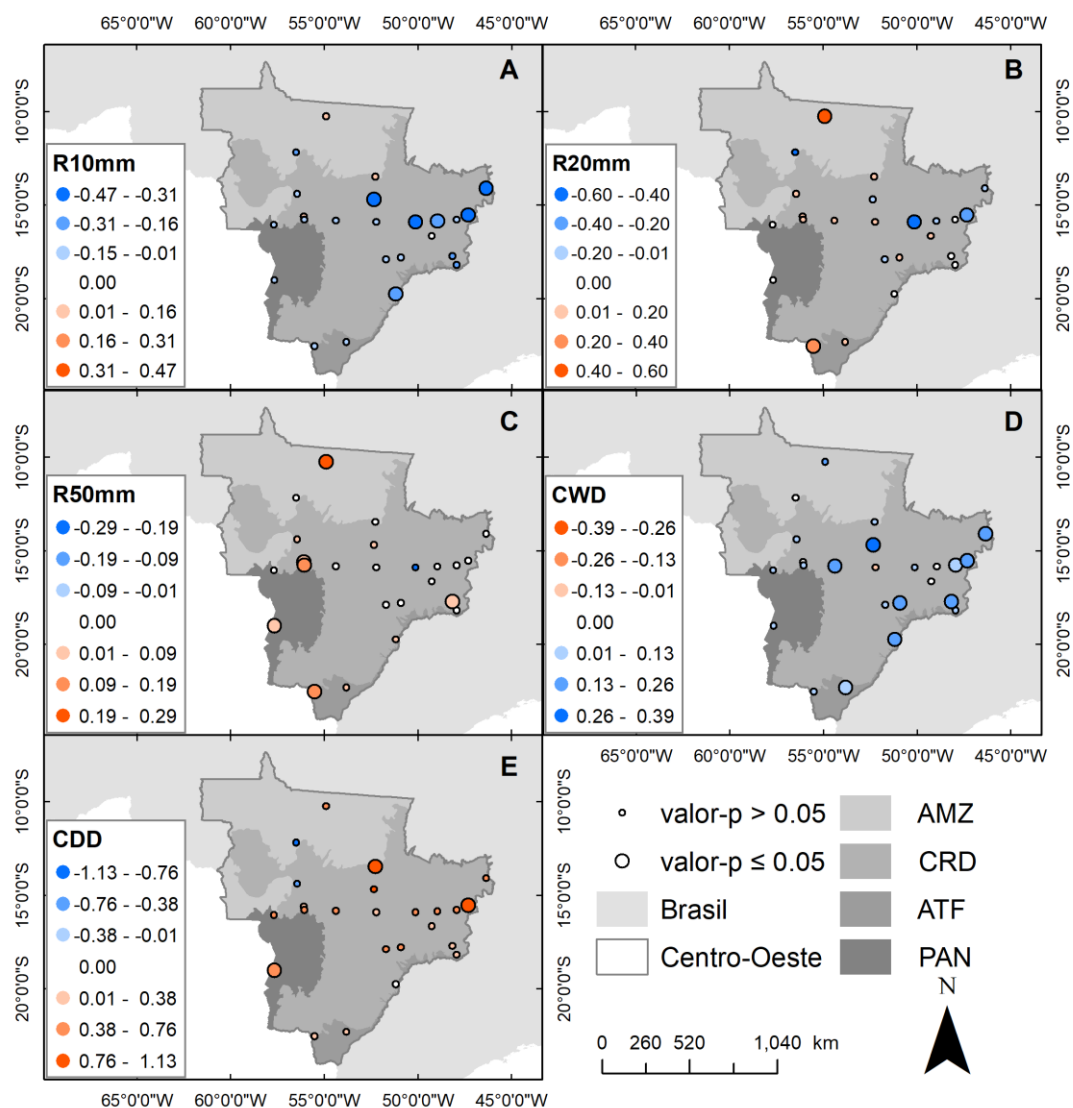


FIGURA 15 – Distribuição espacial das tendências dos índices de Precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm (R10mm) (A), Precipitação de um dia igual ou superior a 20 mm (R20mm) (B), Precipitação de um dia igual ou superior a 50 mm (R50mm) (C), Dias Consecutivos Úmidos (CWD) (D), e número máximo de dias consecutivos secos (CDD) (E) durante 1979 a 2019 para a região do Centro Oeste, Brasil. Os círculos maiores indicam significância estatística ao nível de 5% e os menores círculos não apresentam significância.

4.3. ANÁLISE SAZONAL POR ECOSISTEMAS

As tendências foram significativas principalmente na estação de primavera (30,2%), seguidos do outono (29,3%), inverno (24,3%) e verão (16,2%). A amplitude da temperatura diurna apresentou tendências significativas para todos os ecossistemas (TABELA 4). A amplitude da temperatura diurna apresentou tendências positivas

significativas para as estações de verão, outono e inverno. A maior tendência positiva significativa para a amplitude da temperatura diurna ocorreu no Pantanal durante a estação de inverno ($0,04\text{ }^{\circ}\text{C ano}^{-1}$) (TABELA 4).

A quantidade máxima da precipitação em um e cinco dias indicaram tendências negativas significativas para a Amazônia, Cerrado e Pantanal durante a estação do outono. A maior redução da quantidade máxima da precipitação em um e cinco dias foi para a Amazônia ($-0,54\text{ mm ano}^{-1}$ e $-1,15\text{ mm ano}^{-1}$), respectivamente (TABELA 4). Os dias quentes intensificaram-se praticamente em todas as estações do ano, enquanto as noites quentes apresentaram tendência positiva significativa para o Cerrado durante as estações de outono e primavera. Diretamente associados a estes, os dias frios e noites quentes na Amazônia e no Cerrado diminuíram (TABELA 4).

Em geral, a temperatura máxima apresentou um padrão de aumento na Amazônia, Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica. A menor temperatura mínima anual e a maior temperatura mínima anual aumentaram durante as estações de verão, inverno e primavera. A menor temperatura máxima anual e a temperatura máxima anual apresentaram tendências positivas significativas durante a estação de inverno na Amazônia, Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica (TABELA 4).

TABELA 4 – Tendências sazonais dos índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação a partir do teste de Mann-Kendall durante 1979 a 2019 para a região Centro-Oeste do Brasil. As células de cor cinza e negrito indicam valores significativos ao nível de 5%

Índice	Amazônia				Cerrado			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
DTR	0,01	0,03	0,03	-0,04	0,01	0,03	0,02	-0,03
RX1day	0,22	-0,54	0,00	0,34	0,00	-0,34	-0,01	0,29
RX5day	0,12	-1,15	0,00	0,63	-0,05	-0,77	-0,04	0,62
TN10p	-0,02	0,00	-0,04	-0,05	-0,03	-0,02	-0,02	-0,03
TN90p	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04
TX10p	-0,02	-0,05	-0,05	-0,04	-0,03	-0,01	-0,02	-0,03
TX90p	0,06	0,03	0,04	0,09	0,04	0,03	0,04	0,05
TNn	0,01	-0,03	0,00	0,05	0,01	-0,06	0,01	0,05
TNx	0,00	-0,01	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,02	0,01
TXn	0,01	0,01	0,04	-0,01	0,01	-0,02	0,03	0,01
TXx	0,01	0,01	0,05	-0,01	0,00	-0,01	0,04	-0,01

Índice	Pantanal				Mata Atlântica			
	Verão	Outono	Inverno	Primavera	Verão	Outono	Inverno	Primavera
DTR	0,00	0,02	0,04	-0,02	0,00	0,02	0,03	-0,01
RX1day	-0,03	-0,24	-0,02	0,24	0,08	-0,05	-0,07	0,19
RX5day	-0,01	-0,49	-0,07	0,42	0,12	-0,18	-0,17	0,27
TN10p	0,01	0,00	0,00	-0,03	0,00	0,00	0,00	-0,01
TN90p	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
TX10p	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,00	0,00	-0,02
TX90p	0,05	0,02	0,03	0,05	0,00	0,05	0,00	0,04
TNn	0,01	-0,07	0,00	0,07	0,03	-0,10	0,02	0,09
TNx	0,00	-0,02	0,02	0,01	0,00	-0,04	0,02	0,02
TXn	0,00	-0,06	0,03	0,05	-0,03	-0,05	0,07	0,07
TXx	-0,01	-0,01	0,05	0,00	0,00	-0,02	0,06	0,01

4.4. CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES EXTREMOS DE TEMPERATURA DO AR COM AS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO MAR

Na Amazônia, foi observado que a região de Niño 4 apresentou correlação positiva significativa com as noites quentes, indicando um aumento da temperatura mínima com as oscilações da temperatura da superfície do oceano (FIGURA 16). As anomalias do Oceano Pacífico apresentaram correlação positiva significativa com a menor temperatura mínima anual, com exceção da região de Niño 1+2. Além disso, a maior temperatura mínima anual foi influenciada positivamente com as regiões de Niño 3, Niño 3.4 e ONI. Por outro lado, as anomalias da TSM do Oceano Atlântico evidenciaram uma relação associada a amplitude e ao aumento da temperatura com correlação positiva significativa com a amplitude da temperatura diurna, dias quentes, maior temperatura máxima anual e índice de duração de ondas de calor.

No Cerrado, as anomalias da TSM do Oceano Pacífico apresentaram correlação significativa apenas com as noites quentes. No entanto, as anomalias da TSM do Oceano Atlântico exerceram maior influência no comportamento dos índices extremos climáticos de temperatura. As anomalias da TSM da região Sul do Atlântico (TSAI) exerceram influência positiva significativa com os índices associados a temperatura máxima (TN90p, TX90p e WSDI).

No Pantanal, foi observado correlação estatisticamente significativa apenas entre as anomalias da TSM do Oceano Pacífico (Niño 1+2 e Niño 4) com a menor temperatura mínima anual e a menor temperatura máxima. No entanto, as anomalias da TSM do Oceano Atlântico apresentaram maior variabilidade de correlações estatisticamente significativas entre os índices extremos de temperatura. A Mata Atlântica apresentou correlação significativa apenas entre a região de Niño 1+2 com a duração das ondas de frios. Além disso, somente as anomalias do Norte do Atlântico (TNAI) indicaram relação positiva com a menor temperatura mínima anual.

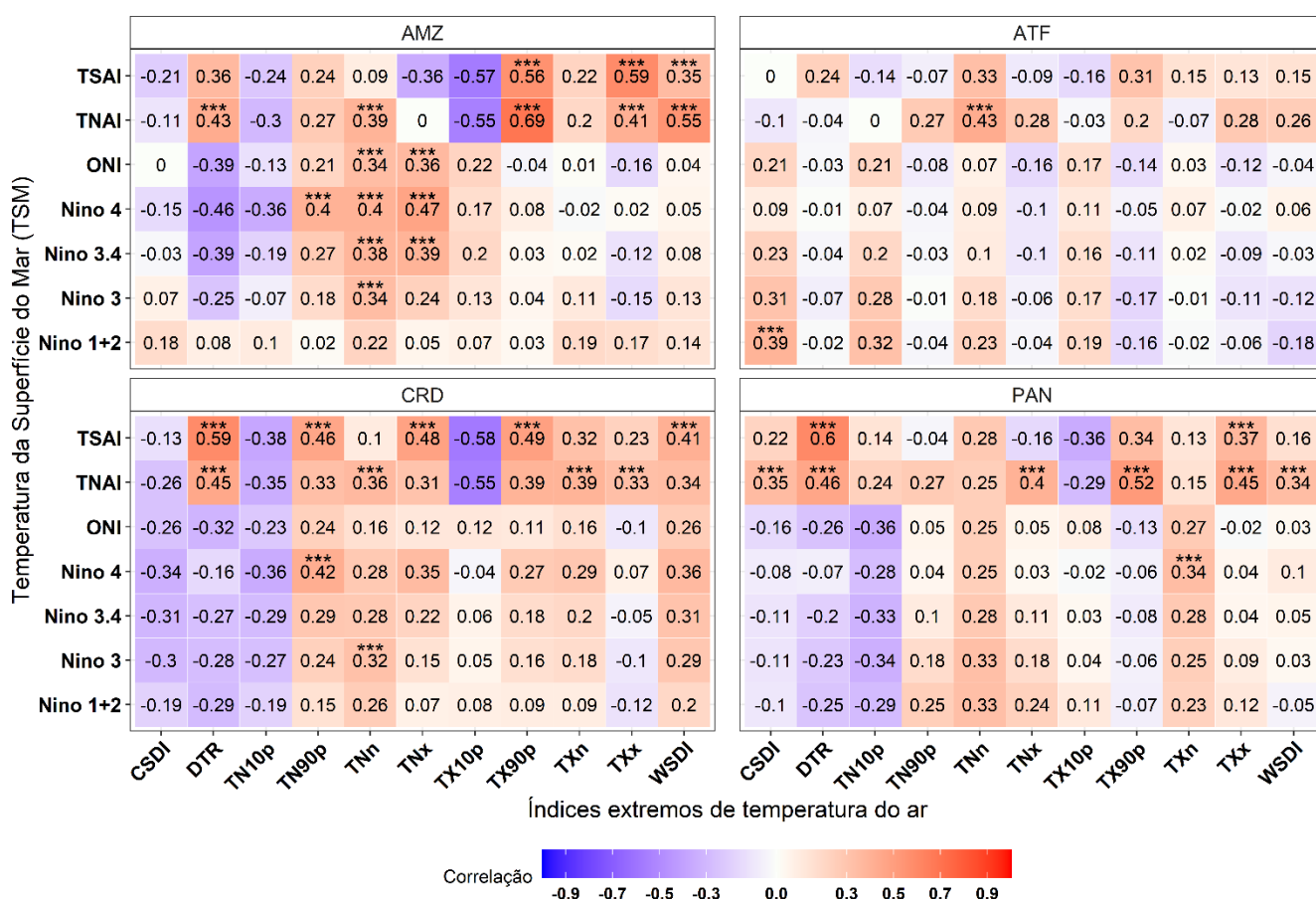


FIGURA 16 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) com os índices extremos de temperatura do ar para os ecossistemas da Amazônia (AMZ), Cerrado (CRD), Pantanal (PAN) e Mata Atlântica (ATF) que estão inseridos no Centro-Oeste do Brasil. As células que apresentam *** indicam valores significativos ao nível de 5%.

4.5. CORRELAÇÃO ENTRE OS ÍNDICES EXTREMOS DE PRECIPITAÇÃO COM AS ANOMALIAS DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO MAR

Na Amazônia, as anomalias da TSM do oceano pacífico (Nino 4 e ONI) apresentaram correlações positivas significativas com os dias consecutivos secos. As regiões de Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4 tiveram relações positivas com os dias extremamente úmidos e com a quantidade máxima de precipitação em um dia (FIGURA 17). Do mesmo modo, as anomalias da TSM no Norte e Sul do Oceano Atlântico (TNAI e TSAI) exercem influência negativa para os eventos extremos de precipitação, com exceção apenas para os dias muito úmidos.

No Cerrado, as anomalias da TSM no Oceano Pacífico não apresentaram correlações significativas. Em geral, apenas a região de Nino 1+2 teve correlação positiva estatisticamente significativa com a precipitação de um dia superior a 10 mm. Além disso, o índice que monitora a atividade do fenômeno ENOS (ONI) apresentou correlação negativa com a máxima precipitação anual em um dia. Em relação as anomalias do Oceano Atlântico, os índices TNAI e TSAI apresentaram padrões distintos. No entanto, o índice TNAI teve correlação positiva com os índices de precipitação, enquanto TSAI apresentou comportamento inverso.

No Pantanal, as anomalias da TSM no Oceano Pacífico não apresentaram relação com significância estatística com os índices extremos de precipitação. Por outro lado, TNAI mostrou correlação positiva com o número máximo de dias consecutivos secos, enquanto o TSAI apresentou relação positiva com os índices de precipitação extrema. Na Mata Atlântica, ocorreu o maior número de correlações estatisticamente significativa. As anomalias da TSM no Oceano Pacífico apresentaram correlação negativa com o número máximo de dias consecutivos secos, com exceção da região de Niño 1+2. No entanto, Niño 1+2 e Niño 3 apresentaram correlação positiva com a precipitação total anual dos dias úmidos, precipitação de um dia igual ou superior a 10 mm e 20 mm. As anomalias no Norte do Oceano Atlântico (TNAI) tiveram correlação positiva significativa com a precipitação de um dia superior a 20 mm e 50 mm, assim como, nos dias muitos chuvosos, dias extremamente chuvosos, com máxima precipitação anual em 1 e 5 dias, os quais influenciam diretamente os valores da precipitação total.

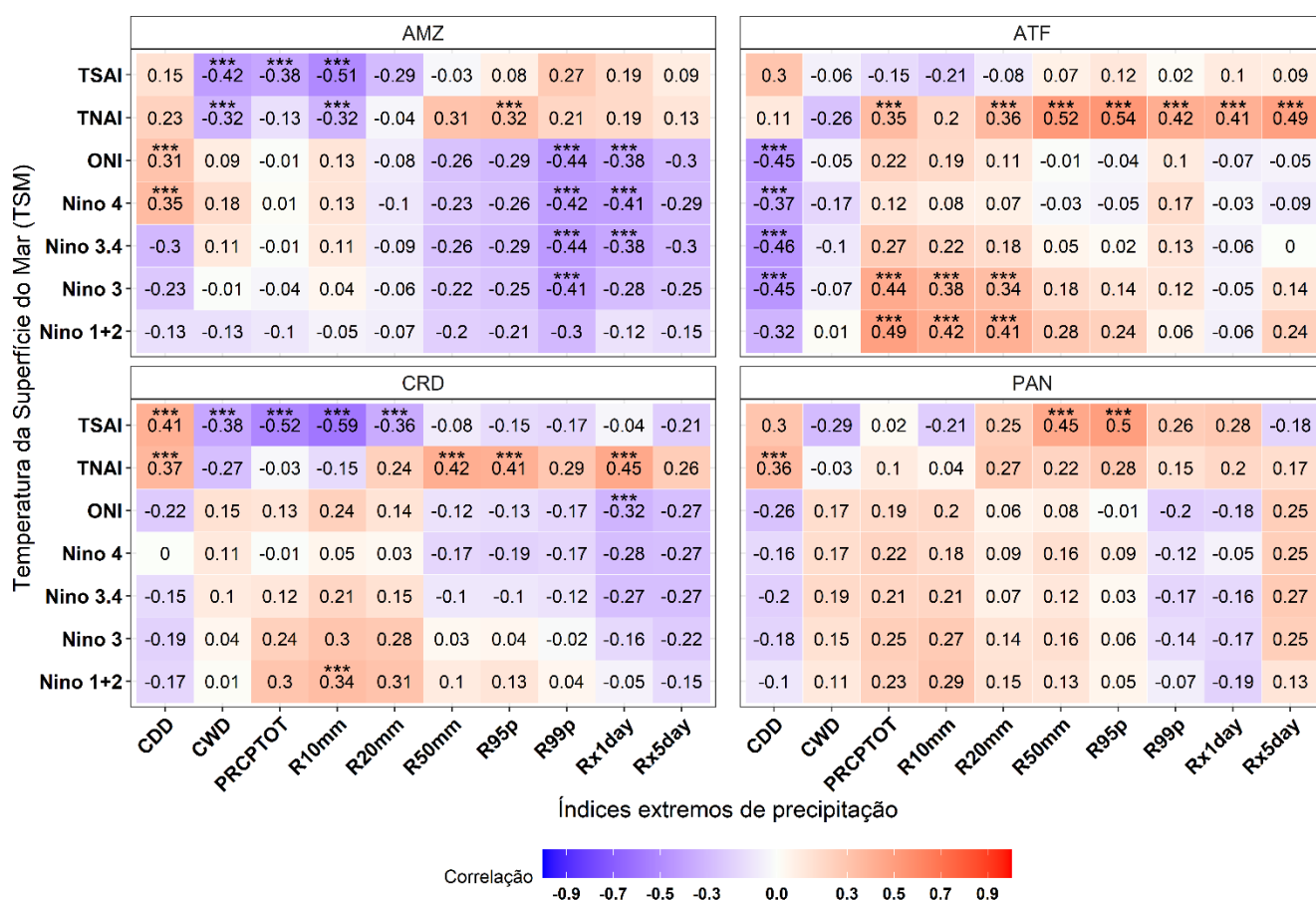


FIGURA 17 – Coeficientes de correlação de Pearson entre as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) com os índices extremos de precipitação para os ecossistemas da Amazônia (AMZ), Cerrado (CRD), Pantanal (PAN) e Mata Atlântica (ATF) que estão inseridos no Centro-Oeste do Brasil. As células que apresentam *** indicam valores significativos ao nível de 5%.

5. DISCUSSÕES

5.1. ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS DE TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO

A temperatura do ar apresentou tendência positiva significativa em todos os locais de estudo. As tendências nos índices de temperatura máxima (TXx e TXn) foram superiores na Amazônia, assim como, no Leste da área de estudo. No entanto, os índices de temperatura mínima (TNx e TNn) apresentaram maior variabilidade, com tendências positivas e negativas. Deste modo, a variação destes extremos térmicos intensifica em um aumento da amplitude térmica (DTR). Estudos em escalas globais indicam a diminuição da DTR (ALEXANDER et al., 2006), enquanto o clima em escala regional está sujeito a diferentes fatores climáticos, como topografia, vegetação e sistemas atmosféricos (ELY e FORTIN, 2020).

Os índices extremos climáticos da temperatura do ar, indicaram que houve um aumento dos dias e noites quentes (TX90p e TN90p) e das ondas de calor (WSDI). Além disso, também ocorreu uma redução das frequências dos dias e noites frias (TX10p e TN10p). Esse comportamento pode estar associado as constantes mudanças provocadas nos parâmetros biofísicos devido ao uso e cobertura do solo (PEDREIRA JUNIOR et al., 2020). Com estas mudanças, há uma redução da evapotranspiração e dos fluxos de calor do solo, aumento dos valores de albedo e fluxo de calor sensível, o que afeta diretamente o balanço hídrico e energético na região (ALMEIDA et al., 2017; SILVA et al., 2019). Um importante fator associado a variabilidade destes extremos são as elevadas taxas de desmatamento e queimadas na região. Desta forma, a mudança na cobertura vegetal superficial pode alterar os padrões climáticos da região (PIRES et al., 2016; SPERA et al., 2020).

As mudanças na cobertura do solo influenciam os processos atmosféricos como as propriedades das nuvens, convecção, temperatura e precipitação (KHAROL et al., 2013). Estas mudanças podem causar impactos no balanço hidrológico regional, como redução na condensação das nuvens, disponibilidade de umidade reduzida e menor captação de umidade devido à redução no Índice de Área Foliar (IAF). Além disso, há um aumento na evaporação, escoamento superficial do solo e diminuição da transpiração (SHARMA et al., 2018). Ressalta-se que, mudanças na cobertura do solo como a urbanização apresenta influência direta sobre a variabilidade da temperatura

mínima, devido ao armazenamento de calor residual nas estruturas dos edifícios, o qual é liberado durante a noite, induzindo a condições de noites mais quentes (TN90p) (KUCZYŃSKI e STASZCZUK, 2020).

Os índices de precipitação apresentaram maior variabilidade em suas tendências, no entanto, em menor quantidade quando comparado aos índices de temperatura do ar. A precipitação tem se intensificado na Amazônia conforme os valores de tendências observados para os índices Rx1day, Rx5day, SDII R95p, R99p, R20mm e R50mm. No entanto, os valores da precipitação total (PRCPTOT) permaneceram constantes, o que indica uma maior frequência de eventos extremos, porém não influencia no volume pluviométrico anual na região.

Os índices extremos de precipitação no Cerrado, Pantanal e Mata Atlântica não apresentaram um padrão bem definido. Os índices mostraram tendências de diminuição dos dias com fortes eventos de precipitação (R10mm, R20mm), enquanto Ponta Porã apresentou uma tendência de aumento. Por outro lado, dias com eventos de precipitação extrema (R50mm) foram mais frequentes. Além disso, a precipitação máxima em um dia (Rx1day) apresentou tendência de aumento em apenas três locais (Ivinhema, Paranaíba e Ipameri). No entanto, a precipitação acumulada em cinco dias consecutivos apresentou a maior variação em seu comportamento, o que evidencia uma tendência de ocorrer de forma descontínua (intermitente) em função do tempo, pois a precipitação tem se acumulado em uma menor quantidade tempo ao longo do ano em algumas regiões, o qual os índices CWD e CDD apresentaram tendências de aumento e diminuição, respectivamente. Eventos mais intensos de precipitação tem se tornado mais frequentes devido à alta atividade convectiva decorrente da intensificação das correntes ascendentes de ar ocasionada pelo aquecimento superficial mais intenso durante as últimas décadas (IPCC, 2013). A amplitude e frequência dos eventos extremos de precipitação possui relação com o aumento da disponibilidade de umidade na atmosfera, aquecimento superficial e atividades convectivas de larga escala (SANTOS et al., 2016; LORIAUX et al., 2017).

A precipitação em escala sazonal é principalmente influenciada pelo deslocamento de alguns sistemas atmosféricos de meso e larga escala como a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), frentes frias, vórtices ciclônicos e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Em escala global, as flutuações nos valores de

anomalias do Oceano Pacífico (El Niño-Oscilação Sul) e Oceano Atlântico (dipolo do Atlântico) que interferem de modo geral na variabilidade da precipitação no Brasil (VALVERDE e MARENGO, 2014).

A variabilidade dos extremos de precipitação e temperatura do ar também estão associadas a anomalias no déficit de pressão de vapor (VPD), o qual está relacionado ao aquecimento radiativo induzido por gases do efeito estufa, mudanças no uso e cobertura do solo e queima de biomassa. Nestas condições, há um aumento da demanda hídrica na atmosfera que pode tornar as secas mais severas e generalizadas (SHERWOOD e FU, 2014). Além disso, o aumento do VPD modifica a demanda por fotossíntese e transpiração, assim como, reduz a absorção de dióxido de carbono (CO_2) pela vegetação, o que influencia na partição dos fluxos de energia, contribuindo para uma menor evapotranspiração (BARKHORDARIAN et al., 2019).

5.2. RELAÇÃO DOS ÍNDICES EXTREMOS CLIMÁTICOS DA TEMPERATURA DO AR E PRECIPITAÇÃO COM AS ANOMALIAS DA TSM DOS OCEANOS PACÍFICO E ATLÂNTICO

As anomalias da TSM do Oceano Pacífico influenciaram positivamente os índices de temperatura na Amazônia, contribuindo para o aumento dos índices TNn e TNx , o que favoreceu o aumento da temperatura mínima, e consequentemente, impactou as condições de noites quentes (TN90p) (SILVA et al., 2019). Além disso, eventos com temperatura acima da média estão associados a atuação da fase quente das anomalias do Oceano Pacífico (El Niño) (MOURA et al., 2019). Por outro lado, TNAI e TSAI implicou em condições de dias quentes (TX90p) com o aumento da temperatura máxima (TXx) e ocorrências de ondas de calor (WSDI), visto que estes índices apresentaram relação linear com a variabilidade do Dipolo do Atlântico (FIGURA 16).

No Cerrado, as anomalias da TSM do Oceano Pacífico (Niño 3) estão associadas também com o aumento da temperatura mínima com relação positiva com o índice TNn , o que favorece para uma condição de noites quentes. No entanto, a variabilidade do Dipolo do Atlântico (TNAI , TSAI) contribuiu para o aumento da temperatura, em que é observado que a temperatura máxima apresenta uma tendência

de aumento maior que a temperatura mínima, proporcionando uma amplitude térmica significativa (DTR).

As correlações no Pantanal mostraram relações positivas entre as anomalias da TSM do Oceano Pacífico e Atlântico com os índices de temperatura máxima e mínima, indicando que o aumento da temperatura na superfície do oceano impactou na ocorrência de ondas de calor (WSDI) e frio (CSDI), assim como, implicou significativamente na amplitude térmica. Destaca-se que a Mata Atlântica, apresentou relação positiva significativa entre as anomalias da TSM do Oceano Pacífico mais próximas a região costeira da América do Sul (Niño 1+2) apenas com as ocorrências das ondas de frio (CSDI). Além disso, a região de TNAI impacta positivamente na variabilidade do índice TNn, que representa o comportamento da menor temperatura mínima.

As correlações entre as anomalias da TSM no Oceano Pacífico (Nino 4 e ONI) com os índices extremos de precipitação na Amazônia apresentaram um aumento dos dias consecutivos secos na região, o qual contribui diretamente para a diminuição de outros índices como o R95p e Rx1day, o que favoreceu as condições de seca. Este padrão nas correlações mostra que a fase quente (El Niño) na zona mais ao oeste do Oceano Pacífico Equatorial influenciou em diminuição dos eventos de precipitação na região. Possivelmente, resultante do deslocamento orientado no sentido oeste-leste do ramo ascendente da célula de Walker no Pacífico Equatorial, o qual é acarretado pelas anomalias da TSM, favorecendo a ocorrência de extremos de precipitação (SANTOS et al., 2016). Por outro lado, as anomalias do Oceano Atlântico (TNAI e TSAI) impactaram em diminuição dos dias consecutivos úmidos (CWD) e eventos de precipitação mais intensos (R10mm), e consequentemente, na redução do volume pluviométrico anual (PRCPTOT).

Durante a atuação do fenômeno El Niño, a circulação atmosférica apresenta mudanças em seu comportamento através do enfraquecimento dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico, o que induz a convecção tropical, antes atuando no Pacífico Tropical oeste atue sobre a região central e leste do Pacífico, o que consequentemente altera os padrões da célula de circulação zonal de Walker (TRENBERTH, 2013). Com isso, os movimentos ascendentes se deslocam de leste a oeste, enquanto um ramo subsidente da célula de Walker diminui a intensidade do ramo ascendente que ocorre

sobre a região da Amazônia. Nestas condições, há um enfraquecimento da convecção na região em que pode induzir a déficits de precipitação (PEREIRA et al., 2017).

No entanto, é válido ressaltar, que os impactos no déficit de precipitação também podem estar relacionados a atuação de diferentes tipos de El Niño (Canônico e Modoki) (ANDREOLI et al., 2017). Enquanto o El Niño canônico apresenta propagação de anomalias positivas de TSM no sentido oeste a partir da costa da América do Sul, o El Niño Modoki apresenta máximas anomalias positivas de TSM no Pacífico Equatorial Central (VIEGAS et al., 2019). Estes eventos de El Niño podem provocar impactos na precipitação em grande parte da América do Sul Tropical durante o verão (DJF), porém, com diferentes intensidades (TEDESCHI et al., 2013).

Os eventos de El Niño aumentam os fluxos de calor sensível e latente do oceano para a atmosfera (TRENBERTH, 2013), o qual a atividade convectiva é favorecida e a temperatura média da troposfera tropical pode ser 1°C mais elevada do que em episódios de La Niña (PEREIRA et al., 2017). Além disso, a baixa troposfera também apresenta um aumento de temperatura em anos de El Niño devido a transferência de calor sensível para o ar, o que reforça condições de aumento de um gradiente horizontal de temperatura nos trópicos e extratropicos, o qual contribui para intensificar a corrente do Jato Subtropical (TRENBERT, 2013). Por outro lado, a intensificação e localização do Jato Subtropical também está associada a intensificação da circulação meridional da célula de Hadley em episódios de El Niño, reforçando as condições dos Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM), o que pode favorecer a extremos de precipitação (SANTOS et al., 2008b; PEREIRA et al., 2017).

As correlações entre as anomalias da TSM e os índices extremos de precipitação no Cerrado e no Pantanal apresentaram pouca ou nenhuma relação com as regiões de Niño do Oceano Pacífico. No entanto, as anomalias da TSM do Oceano Atlântico apresentaram maior correlação com os índices de precipitação, em que sinais positivos das anomalias nas regiões de TNAI e TSAI favorecem a um aumento dos dias consecutivos secos na região. Em contrapartida, foi possível verificar que as anomalias no setor sul do Oceano Atlântico (TSAI), desempenharam uma maior influência negativa na precipitação, principalmente nos totais acumulados e na precipitação igual ou superior a 10 mm dia⁻¹. Enquanto, as anomalias no setor Norte

do Oceano Atlântico (TNAI) influenciam positivamente os índices de precipitação extrema (R50mm, R95p e Rx1day).

As oscilações nas anomalias do Oceano Atlântico, especificamente na região de TNAI refletiram no aumento de eventos de secas mais intensas e prolongadas (THIELEN et al., 2020). A precipitação no Pantanal, é modulada pelas atuações do Sistema de Monções da América do Sul (SMAS) e a Zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (LIEBMANN e MECHOSO, 2011). Como parte da dinâmica do SMAS, grandes volumes de vapor d'água emergem da Amazônia no verão, transportando a maior parte das chuvas para a região sul. As teleconexões entre as anomalias positivas do Atlântico Norte (TNAI) e extremos de precipitação (secas), podem ter ocorrido em razão das mudanças na intensidade e localização do Jato Subtropical. Isso pode afetar o fluxo de evapotranspiração proveniente da Amazônia para o Pantanal (KREPPER e ZUCARELLI, 2010; THIELEN et al., 2020).

As correlações entre as anomalias da TSM e os índices extremos de precipitação na Mata Atlântica indicaram que as flutuações na temperatura do Oceano Pacífico exerceram influência negativa para os dias consecutivos secos (CDD) e positivas para os índices que refletem na intensidade da precipitação em um dia (R10mm e R20mm), ou seja, eventos de El Niño e La Niña contribuem para maiores ou menores valores pluviométricos durante o ano, respectivamente. Em contrapartida, apenas o setor Norte do Atlântico (TNAI) apresentou relação com a precipitação, o qual as anomalias favoreceram positivamente a variabilidade das chuvas na região.

6. CONCLUSÃO

A região Centro-Oeste do Brasil apresentou tendência de aumento dos dias e noites quentes, enquanto os dias e noites frias diminuíram. Além disso, a diferença entre a temperatura máxima e mínima aumentou. Houve tendência de aumento para eventos fortes de precipitação, sendo que o índice simples de intensidade de precipitação apresentou as maiores tendências positivas. As anomalias da temperatura da superfície do mar do Oceano Pacífico Equatorial e Oceano Atlântico apresentaram influência sobre os índices extremos climáticos da temperatura do ar e precipitação.

Este estudo permitiu entender a variabilidade dos extremos climáticos de temperatura e precipitação na região Centro Oeste do Brasil. Estes resultados podem

auxiliar a uma melhor compreensão dos possíveis impactos em escala regional e local das mudanças climáticas nas principais atividades econômicas da região, assim como, fornecem importantes informações para os centros climáticos regionais e órgãos tomadores de decisões de forma a garantir saúde e segurança à população.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L. V. ALEXANDER, L.V.; ZHANG, X.; PETERSON, T.C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; TANK, A.M.G.K.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; KUMAR, K.R.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.B.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J.L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 111, n. D5, 2006.

ALMAGRO, A., OLIVEIRA, P. T. S., NEARING, M. A., & HAGEMANN, S. (2017). Projected climate change impacts in rainfall erosivity over Brazil. **Scientific reports**, 7(1), 1-12.

ALMEIDA, C.T.; OLIVEIRA-JÚNIOR, J.F.; DELGADO, R.C.; CUBO, P.; RAMOS, M.C. (2017). Spatiotemporal rainfall and temperature trends throughout the Brazilian Legal Amazon, 1973–2013. **International Journal of Climatology**, 37(4), 2013–2026.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L., SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**. 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

ANDREOLI, R. V., DE OLIVEIRA, S. S., KAYANO, M. T., VIEGAS, J., DE SOUZA, R. A. F., & CANDIDO, L. A. (2017). The influence of different El Niño types on the South American rainfall. **International Journal of Climatology**, 37(3), 1374-1390.

ASSIS, J.M.O., SOUZA, W.M.S., KOCH, H., SOBRAL, M.C.M. Influência dos oceanos pacífico e atlântico tropicais sobre os índices climáticos da precipitação na bacia do submédio São Francisco. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S.l.], v. 23, dec. 2018. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.60005>.

BADSHA, M.A.H., KAFI, M.A.H., ISLAM, M.Z., ISLAM, T. Analysis of the trends in temperature and precipitation variables for sylhet city of Bangladesh using RClimDex toolkit. Proceedings of the 3rd International Conference on Civil Engineering for Sustainable Development (ICCESD 2016), 12~14 February 2016, KUET, Khulna, Bangladesh.

BARI, S. H., RAHMAN, M. T. U., HOQUE, M. A., & HUSSAIN, M. M. (2016). Analysis of seasonal and annual rainfall trends in the northern region of Bangladesh. **Atmospheric Research**, 176, 148-158.

BARKHORDARIAN, A., SAATCHI, S. S., BEHRANGI, A., LOIKITH, P. C., & MECHOSO, C. R. (2019). A recent systematic increase in vapor pressure deficit over tropical South America. **Scientific reports**, 9(1), 1-12.

BEHARRY, S.L., CLARKE, R.M. & KUMARSINGH, K. Variations in extreme temperature and precipitation for a Caribbean island: Trinidad. **Theor Appl Climatol** 122, 783–797 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00704-014-1330-9>.

BIUDES, M.S.; VOURLITIS, G.L.; MACHADO, N.G.; ARRUDA, P.; NEVES, G.A.R. ALMEIDA LOBO, F.; NEALE, C.M.U.; NOGUEIRA, J.S. 2015. Patterns of energy exchange for tropical ecosystems across a climate gradient in Mato Grosso, Brazil. **Agricultural and Forest Meteorology**. 202, 112-124. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.12.008>.

BOMBARDI, R. J., & CARVALHO, L. M. V. D. (2017). Práticas Simples em Análises Climatológicas: Uma Revisão. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32(3), 311-320.

BORSATO, V. A., & MASSOQUIM, N. G. (2018). OS SISTEMAS ATMOSFÉRICOS E OS EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS NA REGIÃO DE CAMPO MOURÃO-PR. **Revista Brasileira de Climatologia**, 23.

BRETHERTON, C. S. et al. The effective number of spatial degrees of freedom of a time-varying field. **J. Clim.** 12, 1990–2009 (1999).

CAMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de Eventos Pontuais: Análise Espacial de Dados Geográficos, EMBRAPA, 2004.

CAVALCANTI, I. F. A.; V. KOUSKY. (2004) Drought in Brazil During Summer and Fall 2001 and Associated Atmospheric Circulation Feature. **Climanalise**. 2 (1). 1-10.

CAVALCANTI, I.F.D.A., MARENGO, J.A., ALVES, L.M. AND COSTA, D.F. (2017), On the opposite relation between extreme precipitation over west Amazon and southeastern Brazil: observations and model simulations. **Int. J. Climatol.**, 37: 3606-3618. <https://doi.org/10.1002/joc.4942>

CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; & BARROS, J. R. (2014). Classificação climática de Köppen-Geiger para o Estado de Goiás e o Distrito Federal. **ACTA Geográfica**, 8(16), 40-55. <https://doi.org/10.5654/actageo2014.0004.0016>.

CARMICHAEL, M. J., INGLIS, G. N., BADGER, M. P., NAAFS, B. D. A., BEHROOZ, L., REMMELZWAAL, S., & PANCOST, R. D. (2017). Hydrological and associated biogeochemical consequences of rapid global warming during the Paleocene-Eocene Thermal Maximum. **Global and Planetary Change**, 157, 114-138.

CARPENEDO, C. B. (2018). Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no Atlântico tropical e impactos climáticos no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, 1.

COELHO, C.A.S., DE OLIVEIRA, C.P., AMBRIZZI, T. et al. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. **Clim Dyn** 46, 3737–3752 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2800-1>

COSTA, R. L., DE MELLO BAPTISTA, G. M., GOMES, H. B., DOS SANTOS SILVA, F. D., DA ROCHA JÚNIOR, R. L., DE ARAÚJO SALVADOR, M., & HERDIES, D. L. (2020). Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. **Weather and Climate Extremes**, 100254.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Disponível em www.cptec.inpe.br. Acesso em: 05/04/2021.

CUNHA, A. P. M. A.; BARROS, S. S.; RIBEIRO NETO, G. G.; ALVALÁ, R. C. S. As Secas entre 1963 e 2017 no Distrito Federal, Brasil. ANUÁRIO DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS (UFRJ. IMPRESSO), v. 41, p. 487, 2018.

DERECZYNSKI, C., CHOU, S. C., LYRA, A., SONDERMANN, M., REGOTO, P., TAVARES, P., ... & DE LOS MILAGROS SKANSI, M. (2020). Downscaling of climate extremes over South America–Part I: Model evaluation in the reference climate. **Weather and Climate Extremes**, 100273.

DUFEK, A. S., AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, p. 167-178, 2008.

ELY, D. F.; FORTIN, G.; Trend analysis of extreme thermal indices in south Brazil (1971 to 2014). **Theoretical and Applied Climatology**, v. 139, n. 3, p. 1045-1056, 2020.

FARIAS, R. F. L.; NÓBREGA, R. S. Tendência espacial e temporal da precipitação pluviométrica em Pernambuco. In: Mudanças climáticas e Impactos ambientais. Org. Galvêncio, J. D. Ed. Universitária, UFPE, Cap. 15, p.251-264, Recife, 2010.

FREITAS, A. C. V., AÍMOLA, L., AMBRIZZI, T., & DE OLIVEIRA, C. P. (2017). Extreme intertropical convergence Zone shifts over southern maritime continent. **Atmospheric Science Letters**, 18(1), 2-10.

HAMED, K.H., RAO, A.R., 1998. A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data. **J. Hydrol.** 204, 182 – 196. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00125-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00125-X).

HUANG, B., THORNE, P. W., BANZON, V. F., BOYER, T., CHEPURIN, G., LAWRIMORE, J. H., MENNE, M. J., SMITH, T. M., VOSE, R. S., & ZHANG, H. (2017). Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons, **Journal of Climate**, 30(20), 8179-8205.

IPCC. 2013. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Summary for Policymakers. IPCC, Stockholm, Sweden.

KENDALL, M. G. Rank Correlation Methods; Charles Griffin and Company Limited: London, UK, 1975.

KHAROL, S. K., KASKAOUTIS, D. G., SHARMA, A. R., & SINGH, R. P. (2013). Long-Term (1951–2007) Rainfall Trends around Six Indian Cities: Current State, Meteorological, and Urban Dynamics. **Advances in Meteorology**, 2013, 1–15. doi:10.1155/2013/572954

KREPPER CM, ZUCARELLI GV. Climatology of water excesses and shortages in the La Plata Basin. **Theor Appl Clim.** 2010; 102: 13–27. <https://doi.org/10.1007/s00704-009-0234-6>

KUCZYŃSKI, T., & STASZCZUK, A. (2020). Experimental study of the influence of thermal mass on thermal comfort and cooling energy demand in residential buildings. **Energy**, 195, 116984.

LI, X., LI, C., LING, J., & TAN, Y. (2015). The relationship between contiguous El Niño and La Niña revealed by self-organizing maps. **Journal of Climate**, 28(20), 8118–8134.

LIEBMANN B, MECHOSO C. The South American Monsoon System. In: (2nd Edition). Editor: Chang C-P, Wang B, Lau N-CG, editors. The Global Monsoon System: Research and Forecast. World Scientific Publishing Co. 2011. pp. 137–157.

LIN, J., QIAN, T. A New Picture of the Global Impacts of El Nino-Southern Oscillation. (2019). **Sci Rep** 9, 17543. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-54090-5>

LIU, Y., COBB, K. M., SONG, H., LI, Q., LI, C. Y., NAKATSUKA, T., ... & LEAVITT, S. W. (2017). Recent enhancement of central Pacific El Niño variability relative to last eight centuries. **Nature communications**, 8(1), 1–8.

LORIAUX, J. M., G. LENDERINK, AND A. P. SIEBESMA, 2017: Large-Scale Controls on Extreme Precipitation. **J. Climate**, 30, 955–968, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0381.1>.

MANN, H. Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica* 1957, 13, 245.

MARRFOAN, V., REBOITA, M. (2020). Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. **Revista Brasileira de Climatologia**, 26. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.72181>

MARENGO, J. A., & CAMARGO, C. C. (2008). Surface air temperature trends in Southern Brazil for 1960–2002. **International Journal of Climatology**: A Journal of the Royal Meteorological Society, 28(7), 893-904.

MARENGO, J. A., SOUZA JR, C. M., THONICKE, K., BURTON, C., HALLADAY, K., BETTS, R. A., & SOARES, W. R. (2018). Changes in climate and land use over the Amazon region: current and future variability and trends. **Frontiers in Earth Science**, 6, 228.

MENGISTU, A.G.; TEFUHUNEY, W.A.; WOYESSA, Y.E.; VAN RENSBURG, L.D. Analysis of the Spatial-Temporal Variability of Precipitation and Drought Intensity in an Arid Catchment in South Africa. **Climate**, 2020, 8, 70.

MOREIRA, P.S.P., DALLACORT, R., GALVANIN, E.A.S., NEVES, R.J., CARVALHO, M.A.C., BARBIERI, J.D. (2015). Ciclo Diário de Variáveis Meteorológicas nos Biomas do Estado de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**. 17, 176-191. <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.41159>.

MOURA, M. M., DOS SANTOS, A. R., PEZZOPANE, J. E. M., ALEXANDRE, R. S., DA SILVA, S. F., PIMENTEL, S. M., ... & DE CARVALHO, J. R. (2019). Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. **Science of The Total Environment**, 651, 1639-1651.

OLIVEIRA, Reumally Nunes de. A variabilidade da chuva na Amazônia Central: El Niño e La Niña. 2019. 117 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.

OLIVEIRA, N. D. L., & NORONHA MARCUZZO, F. F. (2013). Correlação da variação da temperatura na parte sul do Oceano Atlântico com o número de dias de precipitação pluviométrica do estado do Mato Grosso do Sul. **Geoambiente On-Line**, (20), 01-22 pág. <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i20.26087>.

PEE, L M.C; FINLAYSON, B.L. & MCMAHON, T.A. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, **Hydrol.Earth Syst. Sci.**, 11, 1633-1644. 2007.

PEDREIRA JUNIOR, A., BIUDES, M., MACHADO, N., ARRUDA, A., DOS SANTOS, L., & IVO, I. (2020). Efeito da Mudança da Cobertura em Parâmetros Biofísicos em Cuiabá, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13(03), 1324-1334.

PEREIRA, H. R., REBOITA, M. S., & AMBRIZZI, T. (2017). Características da atmosfera na primavera austral durante o El Niño de 2015/2016. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32(2), 293-310.

PIRES, G. F.; ABRAHÃO, G. M.; BRUMATTI, L. M.; OLIVEIRA, L. J.; COSTA, M. H.; LIDDICOAT, S.; KATO, E.; LADLE, R. J. (2016). Increased climate risk in Brazilian double cropping agriculture systems: Implications for land use in Northern Brazil. **Agricultural and forest meteorology**, 228, 286-298.

POWER, S. B., & KOCIUBA, G. (2011). The impact of global warming on the Southern Oscillation Index. **Climate dynamics**, 37(9-10), 1745-1754.

RAO, V. B., FRANCHITO, S. H., SANTO, C. M., & GAN, M. A. (2016). An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal of Climatology**, 36(1), 291-302.

REGOTO, P, DERECHYNSKI, C, CHOU, SC, BAZZANELA, AC. Observed changes in air temperature and precipitation extremes over Brazil. **Int J Climatol**. 2021; 1– 18. <https://doi.org/10.1002/joc.7119>

RODRIGUES, R. R., TASCHETTO, A. S., GUPTA, A. S., & FOLTZ, G. R. (2019). Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. **Nature Geoscience**, 12(8), 620-626.

ROMERO, V.; CARDOSO, C. C.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROSO, R. G. Correlação da variação da temperatura na parte sul do Oceano Atlântico com a precipitação pluviométrica no estado de Goiás. **Ciência e Natura**, v. 35, p. 232-245, 2014.

RUIZ-ALVAREZ, O., SINGH, V. P., ENCISO-MEDINA, J., ONTIVEROS-CAPURATA, R. E., & DOS SANTOS, C. A. C. (2020). Observed trends in daily

extreme precipitation indices in Aguascalientes, Mexico. **Meteorological Applications**, 27(1), e1838.

SANTOS, LUIZ & LUCIO, PAULO & REBELLO, EXPEDITO & BALBINO, HELENA & FORTES, LAURO & SALES, NADIR & DINIZ, FRANCISCO & CRISTINA, M & COSTA, G & FERREIRA, DANIELLE & SALVADOR, MOZAR & LEANDRO, ISMAEL & PAULA, TIAGO. (2008a). Caracterização De Extremos Climáticos Utilizando O Software Rclimindex. Estudo De Caso: Sudeste De Goiás.10.13140/RG.2.1.3072.0483.

SANTOS, J. G. M. D., CAMPOS, C. R. J. D., & LIMA, K. C. (2008b). Análise de jatos de baixos níveis associados aum sistema convectivo de mesoescala na américa do sul: um estudo de caso. **Revista Brasileira de Geofísica**, 26(4), 451-468.

SANTOS, C. A. C.; NEALE, C. M. U; RAO, T. V. R.; SILVA, B. B. Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation over Utah, USA. **International Journal of climatology**, v.31, p.1813-1822, 2011.

SANTOS, C. A. C.; DE BRITO, J. I., JÚNIOR, C. H. D. S., & DANTAS, L. G. (2012). Trends in precipitation extremes over the northern part of Brazil from Era40 dataset. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 5(4), 836-851.

SANTOS, J. G. M. Transporte de umidade na Amazônia e sua relação com a temperatura da superfície do mar dos oceanos adjacentes utilizando as simulações do CMIP5. 2015. 130 p. IBI: <8JMKD3MGP8W/3J3GFRL>. (sid.inpe.br/mtc-m18/2015/02.27.16.42-TDI). Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2015. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP8W/3J3GFRL>>.

SANTOS, C. A. C.; MELO, M. M.; BRITO, J. I. B. D. (2016). Tendências de Índices de Extremos Climáticos para o Estado do Amazonas e suas Relações com a TSM dos Oceanos Tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 31(1), 1-10.

SANTOS, C.A.C., OLIVEIRA, V.G. (2017). Trends in Extreme Climate Indices for Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 32(1), 13-24. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150053>.

SANTOS, J., ARAÚJO, M., SILVA JUNIOR, C., SANTOS, J., ALMEIDA, J., LIMA, T., SOUSA, L., AGUIAR, P., & SILVA, F. (2020). Tendências de extremos climáticos na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. **Revista Brasileira de Climatologia**, 26. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0.62883>.

SEN, P. K. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. **J. Am. Stat. Assoc.** 1968, 63, 1379–1389.

SEIN, K.K.; CHIDTHAISONG, A.; OO, K.L. (2018). Observed Trends and Changes in Temperature and Precipitation Extreme Indices over Myanmar. **Atmosphere**, 9, 477.

SILVA, PE, SANTOS E SILVA, CM, SPYRIDES, MHC, ANDRADE, LÁRA DE MELO BARBOSA. Precipitation and air temperature extremes in the Amazon and northeast Brazil. **Int J Climatol**. 2019; 39: 579– 595. <https://doi.org/10.1002/joc.5829>

SHERWOOD, S. & FU, Q. A drier future? **Science** 343 , 737-739 (2014).

SOUZA, C. A. de; REBOITA, M. S. Ferramenta para o monitoramento dos padrões de teleconexão na América do Sul. **Terrae Didactica**, Campinas, SP, v. 17, n. 00, p. e02109, 2021. DOI: 10.20396/td.v17i00.8663474. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/td/article/view/8663474>. Acesso em: 21 maio. 2021.

SHARMA, P. J., LOLIYANA, V. D., RESMI, S. R., TIMBADIYA, P. V., & PATEL, P. L. (2018). Spatiotemporal trends in extreme rainfall and temperature indices over Upper Tapi Basin, India. **Theoretical and Applied Climatology**, 134(3), 1329-1354.

SHIMIZU, M. H., AMBRIZZI, T., & LIEBMANN, B. (2017). Extreme precipitation events and their relationship with ENSO and MJO phases over northern South America. **International Journal of Climatology**, 37(6), 2977-2989. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4893>.

SILVA, V. B. S.; KOUSKY, V. E. The South American Monsoon System: Climatology and Variability, **Modern Climatology**, Dr Shih-Yu Wang (Ed.), InTech, 2012.

SILVA, P.; SILVA, C.; SPYRIDES, M.; ANDRADE, L. Análise de Índices de Extremos Climáticos no Nordeste e Amazônia Brasileira para o Período entre 1980 a 2013. **Anuário do Instituto de Geociências**, 42(2), 137-148, 2019. DOI:https://doi.org/10.11137/2019_2_137_148.

SIQUEIRA, A. H. B., & MOLION, L. C. B. (2015). CLIMATE ANALYSIS: THE HODRICK-PRESCOTT FILTER APPLIED TO SOUTHERN OSCILLATION INDEX AND NORTH ATLANTIC OSCILLATION INDEX. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 30(3), 307-318.

SPERA, S.A., WINTER, J.M. & PARTRIDGE, T.F. Brazilian maize yields negatively affected by climate after land clearing. **Nat Sustain** (2020). <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0560-3>

TANK, A. M. G.; ZWIRS, F. W.; ZHANG, X. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. Climate Data and Monitoring, WCDMP-72, WMO, Geneva. 2009.

TEDESCHI, R.; CAVALCANTI, I.F.A.; GRIMM, A.M. Influences of two types of ENSO on South American Precipitation. **International Journal of Climatology**, v. 33, n. 6, p. 1382-1400, 2013.

TEDESCHI, R. G., GRIMM, A. M., & CAVALCANTI, I. F. (2015). Influence of Central and East ENSO on extreme events of precipitation in South America during austral spring and summer. **International Journal of Climatology**, 35(8), 2045-2064. <http://dx.doi.org/10.1002/joc.4106>.

THIELEN, D., SCHUCHMANN, K. L., RAMONI-PERAZZI, P., MARQUEZ, M., ROJAS, W., QUINTERO, J. I., & MARQUES, M. I. (2020). Quo vadis Pantanal? Expected precipitation extremes and drought dynamics from changing sea surface temperature. **Plos one**, 15(1), e0227437.

TREBERTH, K.E. El Niño Southern Oscillation (ENSO), Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. **Encyclopedia of Ocean Sciences** (Second Edition), p. 228- 240, 2013.

VALDEZ-CEPEDA, R. D., GALVÁN-TEJADA, C. E., GALVÁN-TEJADA, J. I., MEDINA-GARCÍA, G., BLANCO-MACÍAS, F., MÉNDEZ-GALLEGOS, S. D. J., & MAGALLANES-QUINTANAR, R. (2020). Relationship between precipitation anomalies and multivariate ENSO index through wavelet coherence analysis. **Atmósfera**, 33(3), 285-299.

VALVERDE, M. & MARENGO, J. "Extreme Rainfall Indices in the Hydrographic Basins of Brazil," **Open Journal of Modern Hydrology**, Vol. 4 No. 1, 2014, pp. 10-26. doi: 10.4236/ojmh.2014.41002.

VICENTE-SERRANO, S. M., QUIRING, S. M., PENA-GALLARDO, M., YUAN, S., & DOMINGUEZ-CASTRO, F. (2020). A review of environmental droughts: Increased risk under global warming? **Earth-Science Reviews**, 201, 102953.

VIEGAS, J., ANDREOLI, R.V., KAYANO, M.T., CANDIDO, L.A., SOUZA, R.A.F., HALL, D.H., SOUZA, A.C., GARCIA, S.R., TEMOTEO, G.G., VALENTIN, W.I.D. (2019). Caracterização dos Diferentes Tipos de El Niño e seus Impactos na América do Sul a Partir de Dados Observados e Modelados. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 34(1), 43-67. Epub May 30. <https://doi.org/10.1590/0102-7786334015>

WANG, C., DESER, C., YU, J. Y., DINEZIO, P., & CLEMENT, A. (2017). El Niño and southern oscillation (ENSO): a review. **Coral reefs of the eastern tropical Pacific**, 85-106.

ZHANG, X.; AND YANG, F. (2004) RClimDex (1.0) User Guide. Downsview: Climate Research Branch Environment Canada.

8. ANEXO

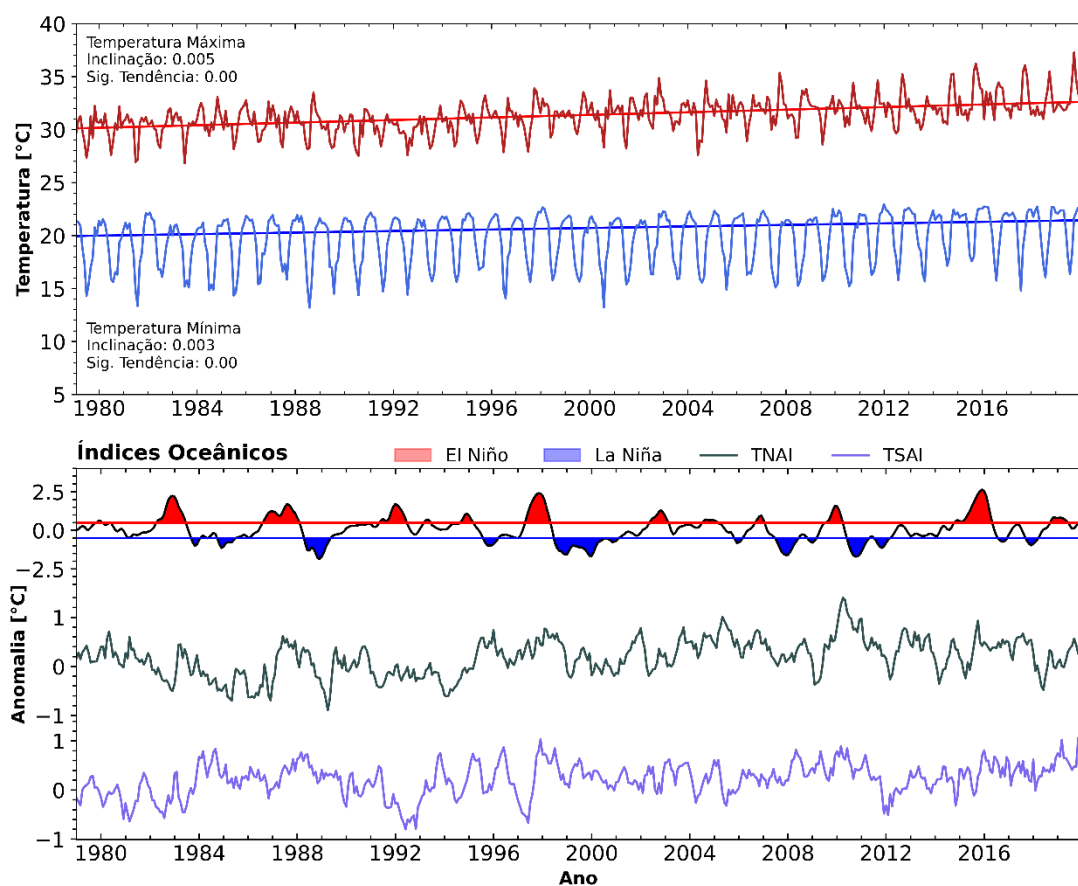


FIGURA 18 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando todos os biomas da área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

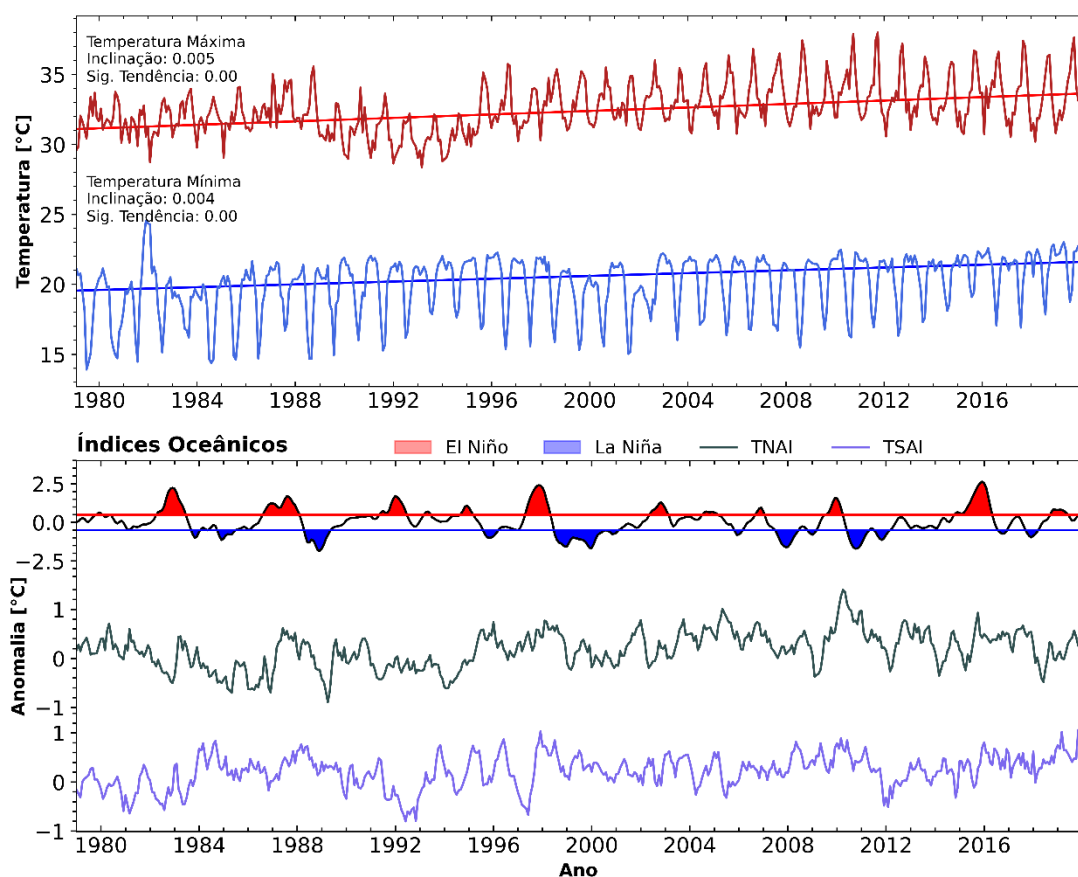


FIGURA 19 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Amazônia na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

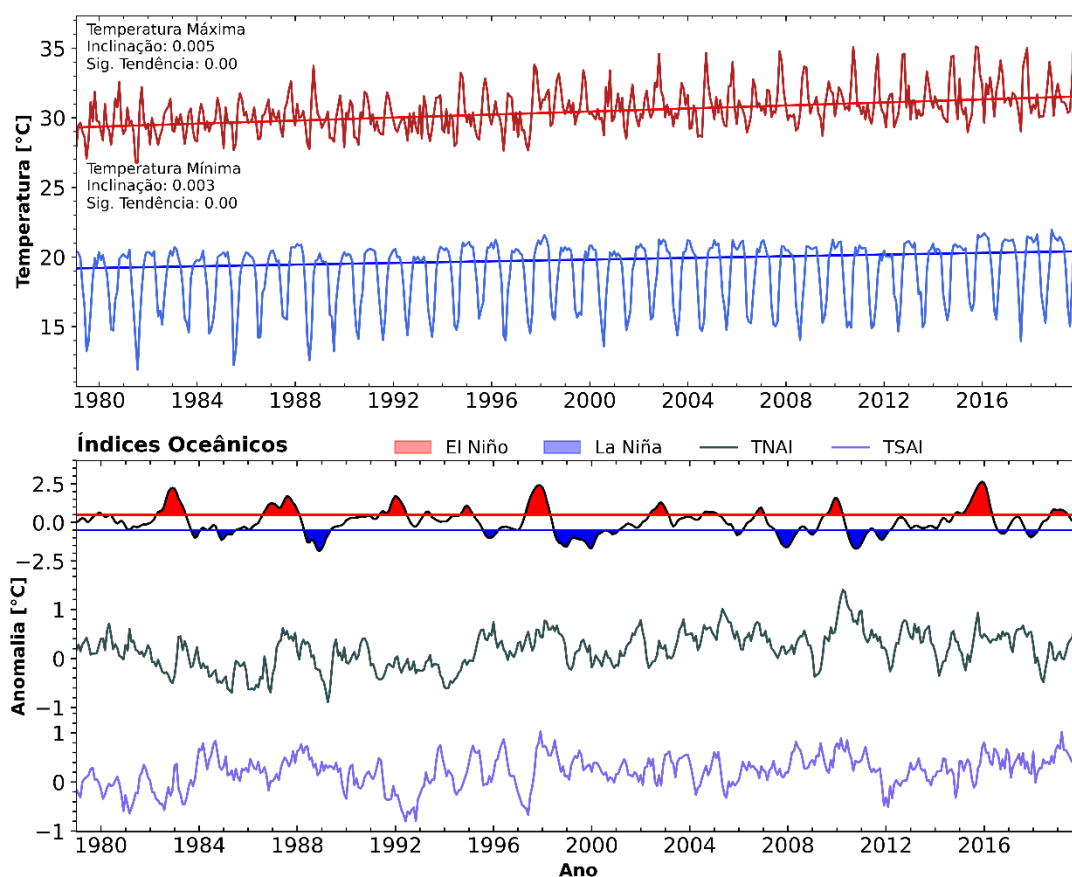


FIGURA 20 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma do Cerrado na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

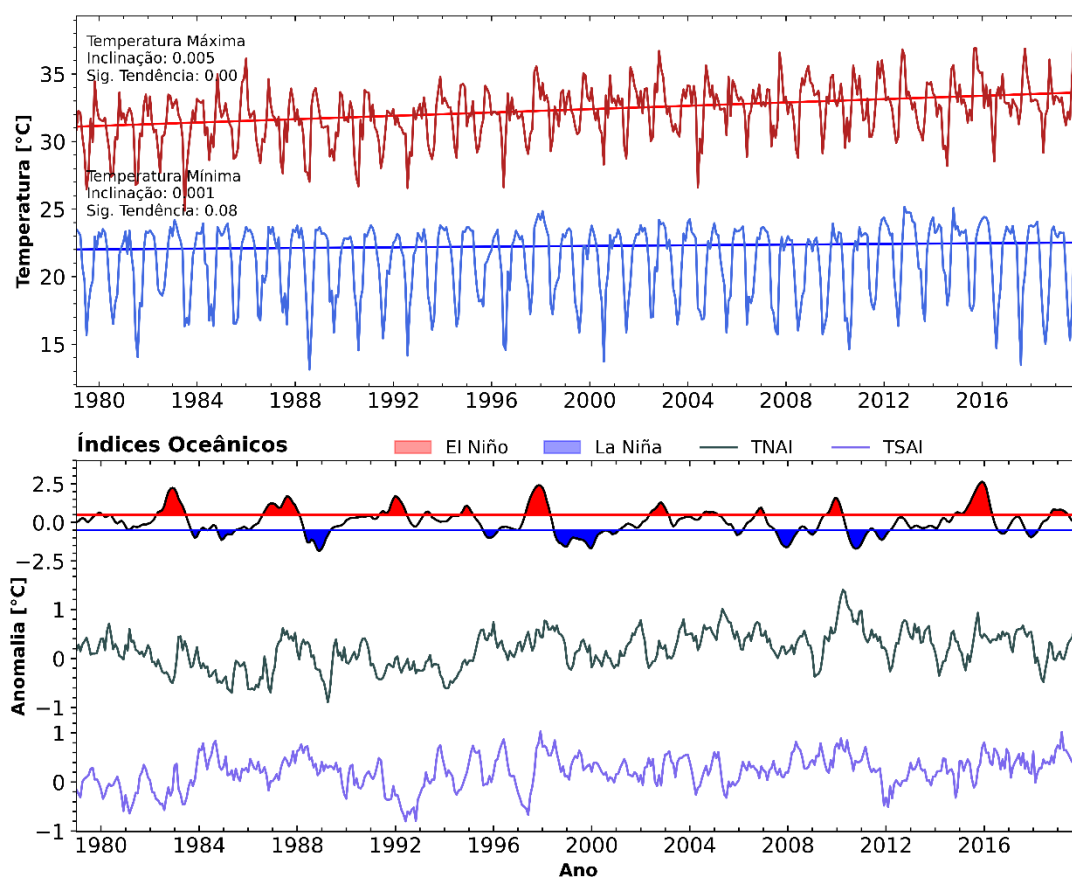


FIGURA 21 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma do Pantanal na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

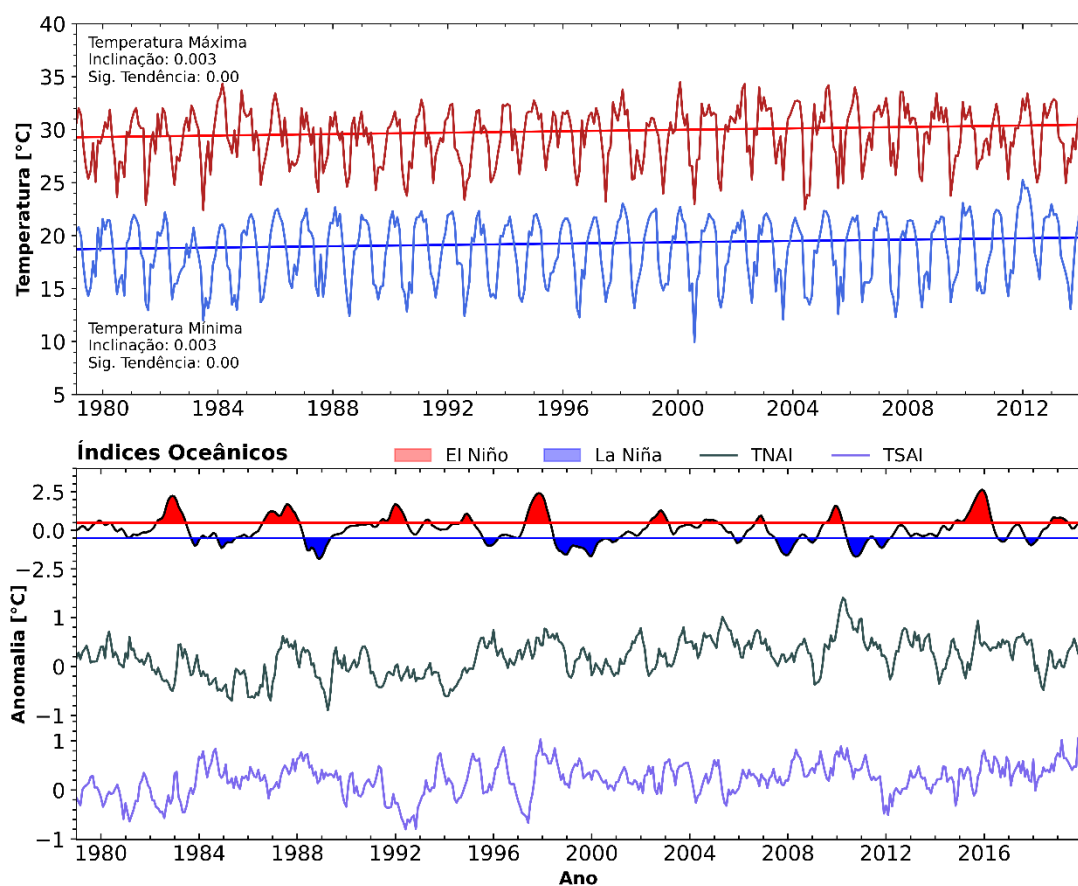


FIGURA 22 – Série temporal de temperatura máxima, temperatura mínima e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Mata Atlântica na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

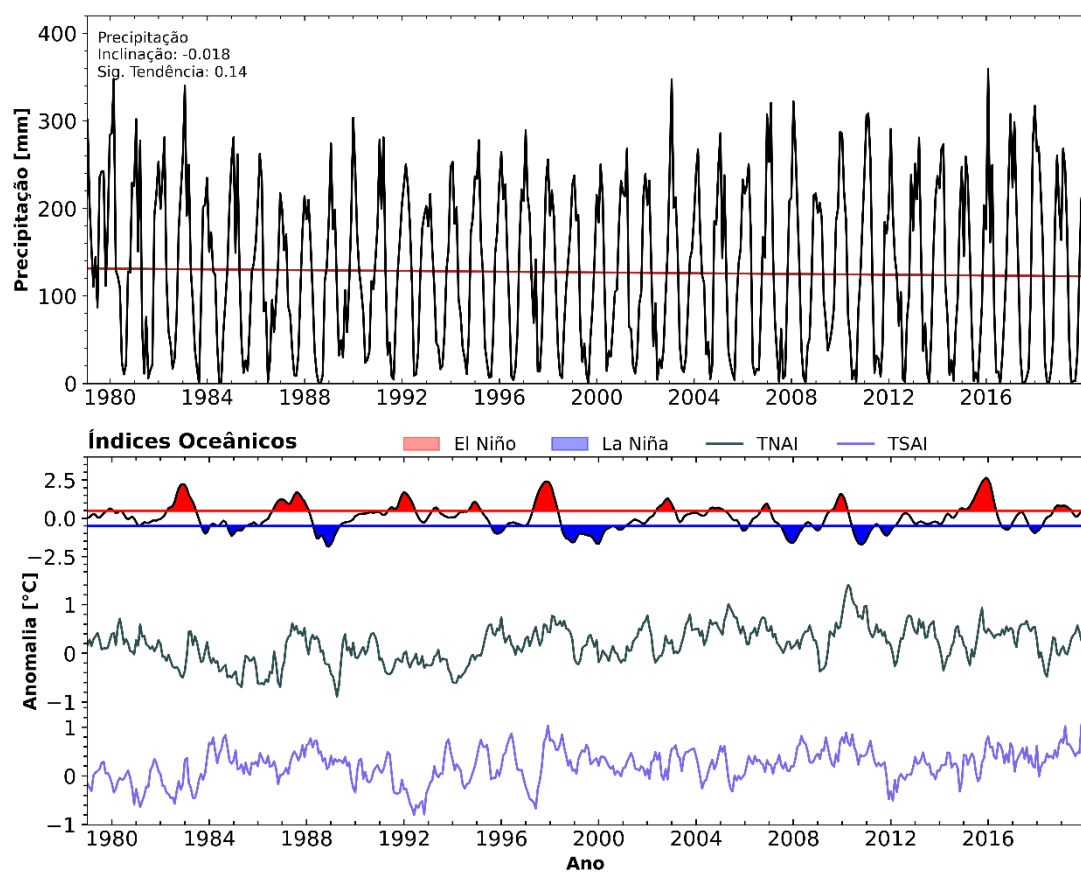


FIGURA 23 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando todos os biomas da área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

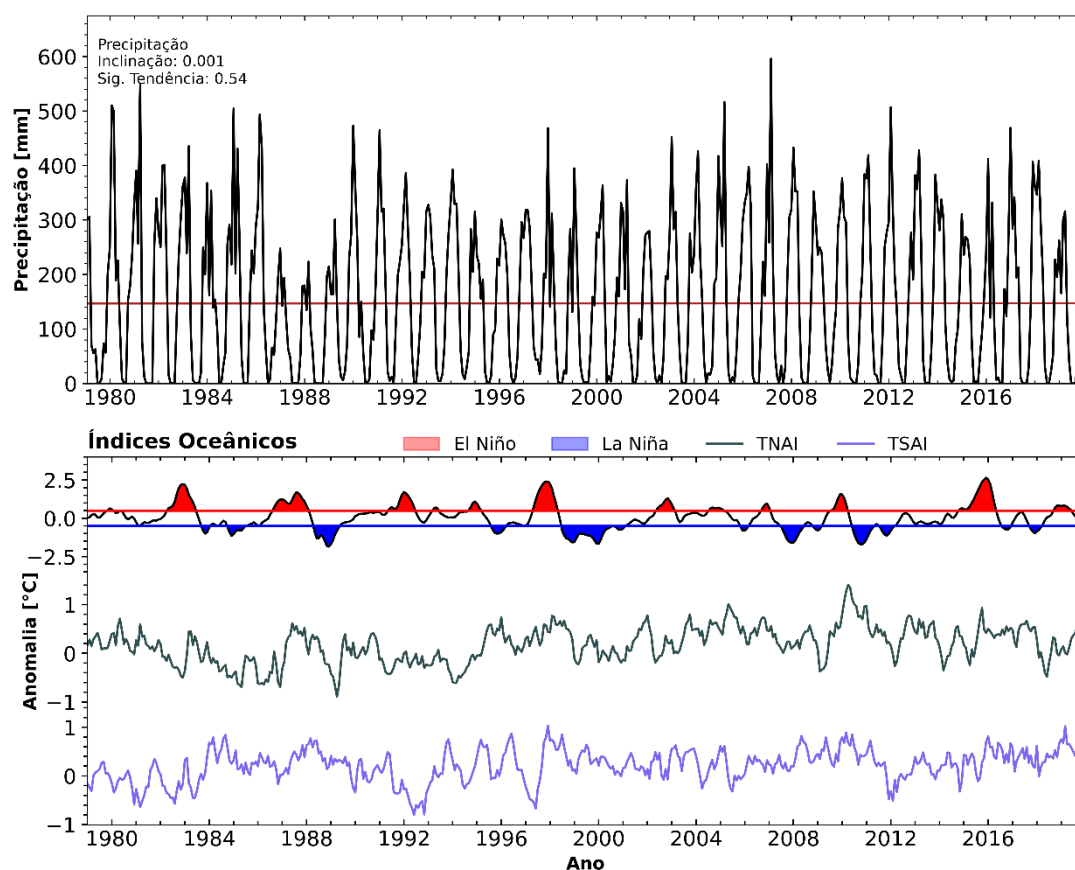


FIGURA 24 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Amazônia na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

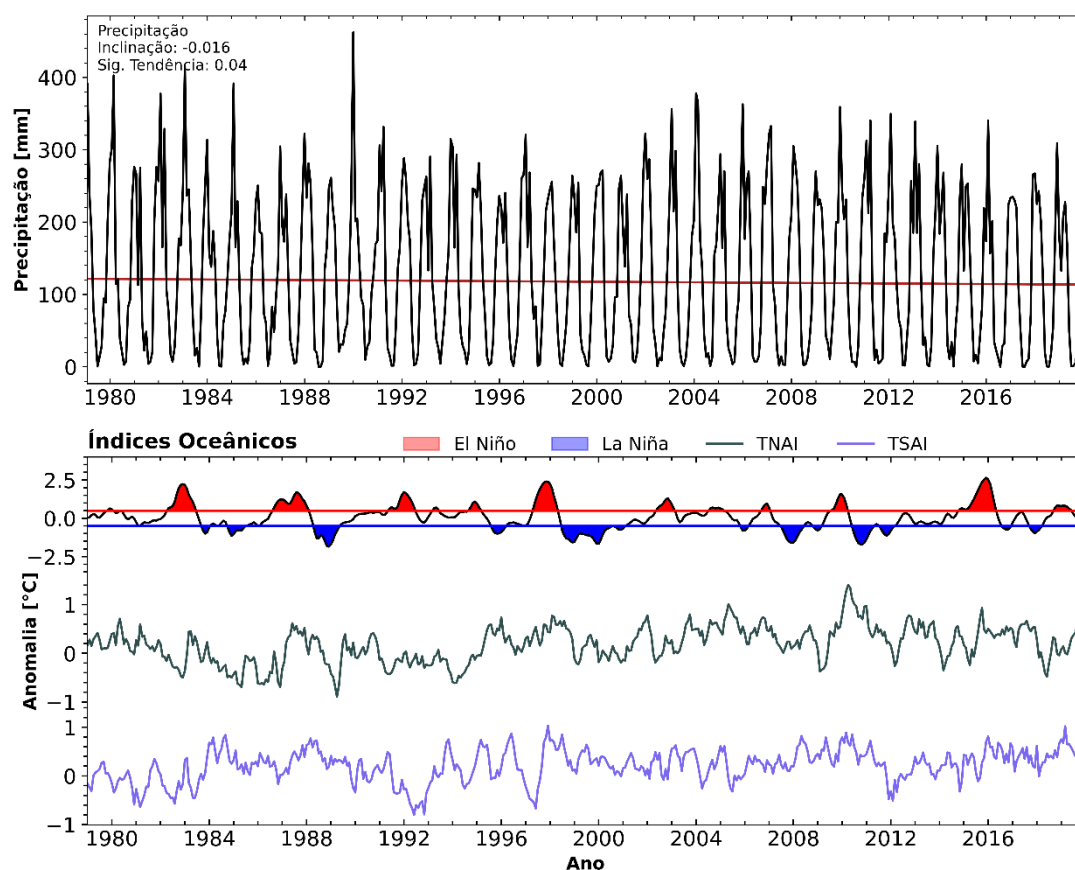


FIGURA 25 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando todos o bioma Cerrado na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

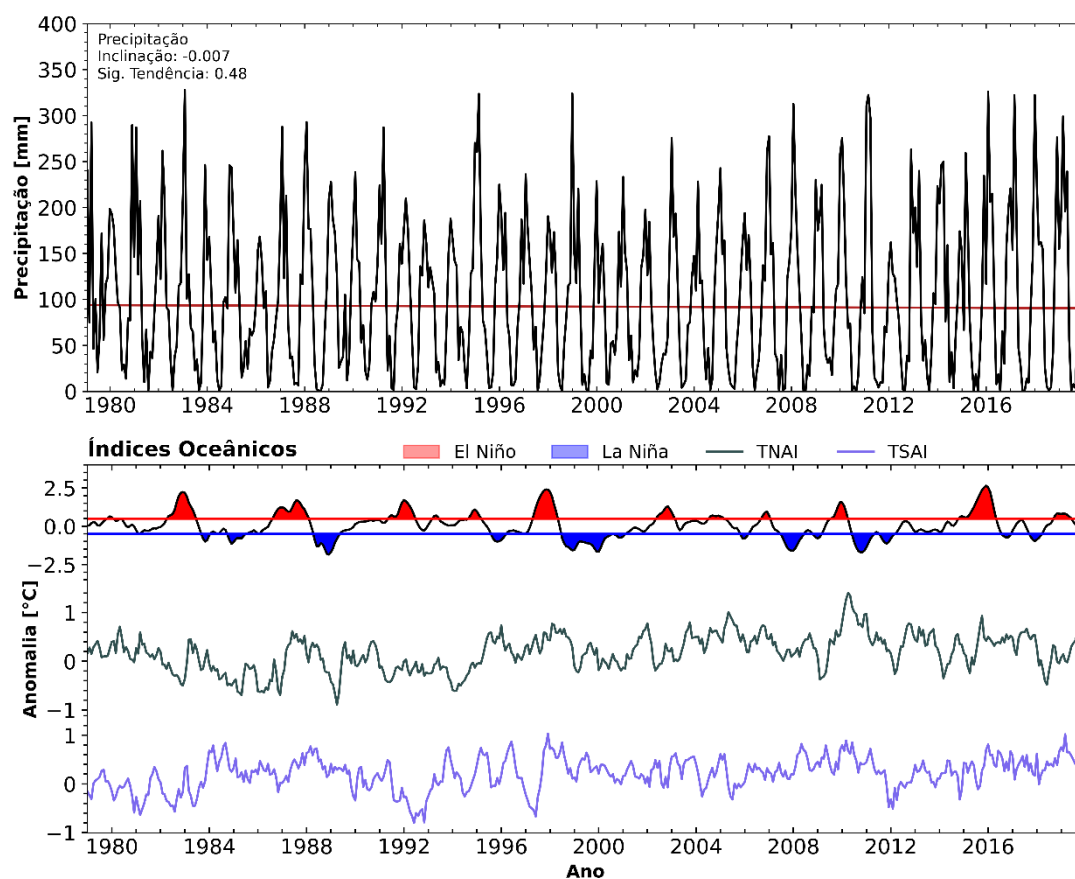


FIGURA 26 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma do Pantanal na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.

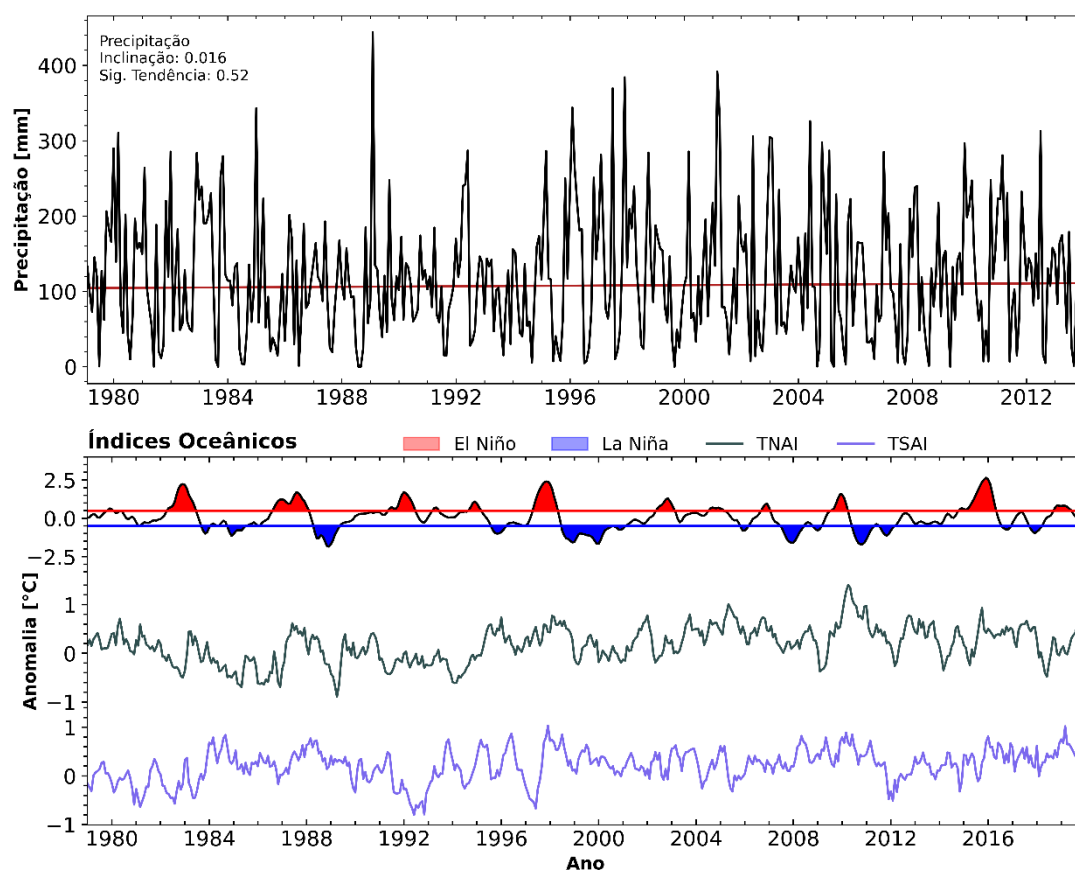


FIGURA 27 – Série temporal de precipitação e suas tendências a partir do teste de Mann-Kendall considerando o bioma da Mata Atlântica na área de estudo, além dos índices oceânicos ONI, TNAI e TSAI referente ao período de 1979-2019.