



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Índices climáticos extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar na região do MATOPIBA-Brasil

Mariana da Silva de Siqueira¹, Madson Tavares Silva², José Ivaldo Barbosa de Brito³, Célia Campos Braga⁴, Amanda Cartaxo de Souza⁵, Welinagila Grangeiro de Sousa⁶

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande- PB, Brasil. siqueira.s.mariana@gmail.com (autora correspondente). ² Professor Dr. Adjunto, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, Brasil. madson.tavares@ufcg.edu.br. ³ Professor Dr. Adjunto, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, Brasil. jivaldobrito@gmail.com. ⁴ Professora Dr^a. Titular, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, Brasil. celiadca@hotmail.com. ⁵ Graduanda em Meteorologia, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande-PB, Brasil. amandacartaxo139@gmail.com. ⁶ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande- PB, Brasil. welinagilagrangiero@gmail.com.

Artigo recebido em 27/06/2023 e aceito em 08/01/2024

RESUMO

Parâmetros de temperatura e precipitação são importantes para obtenção de informações relacionadas às mudanças climáticas e eventos extremos que afetam nossas vidas. Este estudo tem como objetivos analisar tendências anuais de índices de extremos climáticos de temperatura do ar e precipitação pluvial obtidas usando o software RCLimindex, para região do MATOPIBA (engloba principalmente áreas de Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia), assim como agrupar as microrregiões em regiões homogêneas por meio do método agrupamento hierárquico de Ward (1963), empregando valores do índice simples de intensidade diária de precipitação - SDII. Foram utilizados dados de séries históricas diárias (1950-2004) de temperaturas do ar máximas e mínimas e precipitação pluvial adquiridos da Water Weather Energy Ecosystembase (<https://www.2w2e.com/home/CIMP>). As tendências obtidas para as microrregiões e regiões homogêneas foram avaliadas quanto ao nível de significância, sendo considerados índices com significância estatística os que apresentaram valor de $p < 0,05$. Considerando as tendências por microrregiões, maioria dos índices de precipitação demonstram redução das incidências extremas. Apenas para os índices Rx5day, CDD e CWD foram obtidas tendências significativas, sendo estas observadas para uma quantidade de microrregiões que não representam porcentagens de área relativamente significativa em termos da área total. Em relação aos índices de temperatura, foram verificadas tendências significativas crescentes para TXx, TNx e DTR e decrescentes para TNN, para quantidades expressivas de microrregiões. Foram obtidas cinco sub-regiões resultantes do agrupamento dos valores máximos do SDII, e os resultados dos índices por regiões homogêneas, mostraram-se representativos em relação aos valores por microrregiões.

Palavras-chave: detecção, variabilidade climática, RCLimindex, Agrupamento.

Índices climáticos extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar na região do MATOPIBA-Brasil

ABSTRACT

Temperature and precipitation parameters are important for obtaining information related to climate change and extreme events that affect our lives. This study aims to analyze annual trends of indices of climatic extremes of air temperature and rainfall obtained using the RCLimindex software, for the MATOPIBA region (it includes mainly Cerrado areas of the states of Maranhão, Tocantins, Piauí and Bahia), as well as to group the microregions in homogeneous regions by means of the Ward's method in hierarchical clustering (1963), employing values of the Simple precipitation intensity index - SDII. Data from daily historical series (1950-2004) of maximum and minimum air temperatures and rainfall acquired from the Water Weather Energy Ecosystembase (<https://www.2w2e.com/home/CIMP>) were used. The trends obtained for the microregions and homogeneous regions were evaluated for the level of significance, and those with a p -value < 0.05 were considered statistically significant. Considering trends by microregion, most precipitation indices demonstrate reduction in extreme incidences. Only for the indices Rx5day, CDD and CWD were obtained significant trends, these being observed for an amount of microregions that do not represent relatively significant area percentages in terms of the total area. Regarding the temperature indices, trends significant crescents were verified for TXx, TNx and DTR and

decreasing for T_N, for expressive amounts of microregions. Were obtained five sub-regions resulting from the clustering of the maximum values of the SDII, and the results of the indices by homogeneous regions, were shown to be representative in relation to the values by microregions.

Keywords: detection, climate variability, RCLimindex, Clustering.

Introdução

O avanço da agricultura nacional no Cerrado provoca resultados potencialmente trágicos para o bem-estar humano, conservação da biodiversidade o desenvolvimento sustentável no Brasil (Lahsen et al., 2016). A região denominada MATOPIBA (formada principalmente por áreas de Cerrado dos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) tem sido marcada pela intensidade da expansão da agricultura e pelos impactos econômicos, socioambientais gerados por esta atividade, com destaque para a degradação ecossistêmica (Lopes e Guilherme, 2016). O processo de expansão da agricultura deve ser acompanhado por estudos profundos que indiquem a disponibilidade hídrica; considerando as mudanças no uso e cobertura da terra, o aumento da demanda hídrica e os potenciais efeitos das mudanças climáticas em escalas global, local e regional (Garcia e Vieira Filho, 2018).

As mudanças climáticas podem levar a alterações na frequência, intensidade, extensão espacial, duração e período de ocorrência de fenômenos meteorológicos extremos e climáticos, podendo resultar em eventos climáticos extremos sem precedentes. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC destaca que as mudanças climáticas começaram a afetar eventos climáticos extremos, como secas, inundações e ondas de calor, tornando-os mais recorrentes e intensos em todo o mundo no final do século XX, o que possivelmente persistirá no futuro (IPCC; 2013; IPCC, 2014; IPCC 2021; Saddique et al., 2015; Costa et al., 2020).

A temperatura e precipitação são os parâmetros mais importantes relacionados às mudanças climáticas e aos eventos extremos que afetam nossas vidas. Essas variáveis climáticas se destacam em estudos de análises de causas e efeitos de mudanças climáticas. Alterações nestas variáveis, são indicativas de mudanças climáticas (Rana et al., 2016; Abbasnia e Toros, 2018).

Os índices derivados de dados diários de observações meteorológicas são informações importantes extraídas das variáveis, que respondem a perguntas sobre os extremos que afetam os sistemas humanos e naturais (Zhang et al., 2011). No contexto de mudanças climáticas, os índices extremos climáticos são projetados para representar alguns dos desafios mais críticos para os limites fisiológicos humanos, social de

infraestrutura, e do ambiente natural, e aplicados para avaliação de eventos climáticos extremos em escalas local, regional, nacional e global (Donat et al., 2013; Dunn et al., 2020)

O monitoramento do clima, a partir de índices extremos climáticos, além de tornar possível mensurar e avaliar a magnitude, extensão e frequência de eventos extremos, em escala temporal quase real, permite avaliar mudanças anômalas em extremos climáticos que afetaram uma determinada região no passado, buscando compreender possíveis mudanças observadas nos extremos climáticos e suas projeções futuras (Donat et al., 2013; Alexander e Arblaster, 2017).

Eventos extremos de clima têm se tornado mais periódicos e comuns. Dessa forma os índices de extremos climáticos têm sido utilizados em diversos estudos, e em diferentes áreas, da China (Chang et al., 2022), da América do Sul (Haylock et al., 2006; Skansi et al., 2013; Marrafon e Reboita, 2020) e do Brasil (Salvador, 2014; Silva et al., 2017; Zhu e Troy, 2018; Salvador e Brito, 2017; Bezerra et al., 2018; Brito et al., 2019; Avila-Diaz et al., 2020; Costa et al., 2020; Reis, 2020; Lucas et al., 2021; Ferreira e Valverde, 2022; Coelho et al., 2023; Santos et al., 2023).

A análise de tendências de séries históricas é uma das maneiras de se verificar a ocorrência de mudança climática local. Avaliar as tendências dessas séries, baseadas em índices extremos climáticos, utilizando-se uma maior quantidade de dados, atualizados e com maiores intervalos, além de uma melhor regionalização possibilita avaliações abrangentes e confiáveis de variabilidade climática (Silva et al., 2017).

Santos et al. (2020) analisaram tendências anuais de índices de extremos climáticos calculados usando o RCLimDex para 12 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, distribuídas no estado do Maranhão no período de 1986 a 2016, seus resultados evidenciaram que estão ocorrendo extremos climáticos na região estudada, com dias e noites mais quentes e, em algumas localidades, aumento da umidade, aumento e diminuição no volume de chuvas.

Costa et al. (2020) dividiram a região Nordeste do Brasil em três áreas considerando a distribuição de estações homogêneas de acordo com o período chuvoso, utilizando análise de

agrupamento, sendo que duas das áreas obtidas compreendem com exceção do Tocantins, as demais porções da região do MATOBIBA e realizaram avaliação dos índices de extremos climáticos para o período de 1961-2014, utilizando o RCLimDex para estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os autores concluíram que as análises regionais e sub-regionais indicam que o Nordeste do Brasil experimentou uma diminuição significativa no número de dias e noites frios, e aumentos significativos no número de dias e noites quentes a cada ano/década e com relação à precipitação diária, padrões espacialmente organizados de aumento e diminuição são evidentes.

Reis (2020) avaliaram os índices extremos climáticos anuais calculados a partir de dados médios diários de precipitação e temperatura do ar (máxima e mínima) para o período 1980-2013 para quatro sub-regiões de precipitação homogênea, obtidas através da análise de agrupamento dos totais anuais de precipitação na região, destacando que os resultados referentes à análise de tendências concordaram com estudos anteriores realizados no Norte e Nordeste do Brasil, em regiões de alto potencial agrícola.

O presente estudo tem como objetivo analisar as tendências anuais de indicadores de extremos climáticos dependentes das temperaturas

máximas e mínimas do ar e da precipitação pluvial obtidas a partir do software RCLimdex, para região do MATOPIBA, assim como classificar as microrregiões do MATOPIBA em sub-regiões homogêneas, do ponto de vista do índice de simples intensidade de precipitação - SDII.

Material e métodos

Área de estudo

A região MATOPIBA é localizada entre a região Amazônica e o Semiárido Brasileiro, é uma região formada por áreas majoritariamente de cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, abrangendo parte do norte e nordeste do Brasil. Inclui dez mesorregiões, sendo quatro totalmente e seis parcialmente (Sul Maranhense, Leste Maranhense, Oeste Maranhense Centro Maranhense e Norte Maranhense; Oriental do Tocantins e Ocidental do Tocantins; Sudoeste Piauiense; Extremo Oeste Baiano e Vale São-Francisco da Bahia) (Salvador, 2014).

A área da região MATOPIBA (Figura 1) possui delimitação territorial obtida e proposta pelo Grupo de Inteligência Territorial Estratégica - GITE, vinculado a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, abrange 31 microrregiões geográficas do IBGE, reúne 337 municípios e uma área total de 73.173.485 ha. Ela engloba um universo com cerca de 324.326 mil estabelecimentos agrícolas (Miranda et al., 2014).

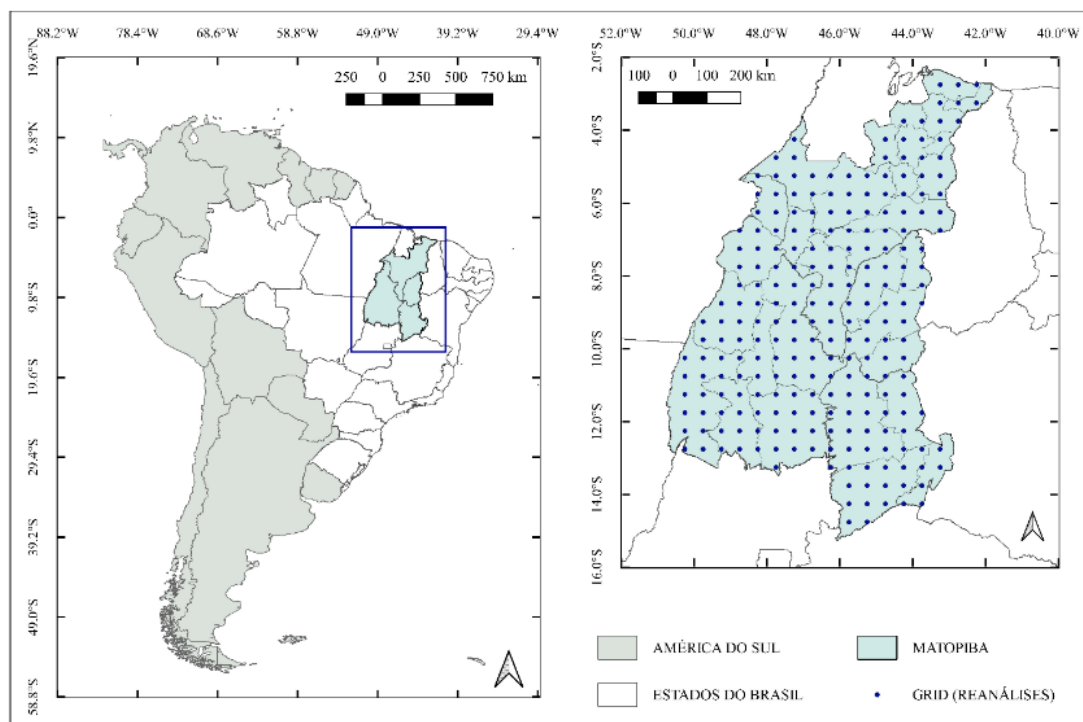


Figura 1. Mapa do Brasil com destaque da área de estudo e da distribuição espacial dos pontos de grade (região do MATOPIBA).

O recorte territorial proposto pela Embrapa para o MATOPIBA entre os quatro estados inclui cerca de 33% da área do total inserida no Maranhão (porções Sul e Leste, 15 microrregiões, 135 municípios, 23.982.346 ha); 38% da área do total no Tocantins (área total do Tocantins, 8 microrregiões, 139 municípios e 27.772.052 ha); 11% da área do total no Piauí (sudoeste, sul e oeste, 4 microrregiões, 13 municípios e 8.204.588 ha) e 18% da área do total na Bahia (porção oeste, 4 microrregiões, 30 municípios e 13.214.499 ha) (Miranda et al., 2014; Souza e Pereira, 2019).

O principal critério para a delimitação desta região foi a ocorrência de áreas de Cerrados, bioma esse que representa cerca de 91% da área do MATOPIBA, seguido pelo bioma Amazônia (7,3%) e com mínima área de Caatinga (1,7%), sendo a cobertura vegetal natural formada predominantemente por savanas (63,6%), áreas de tensão ecológica (15%) e floresta estacional decidual (10,7%) (Bolfé et al., 2016; Souza e Pereira, 2019). Suas pastagens plantadas ocupam cerca de 8 milhões de hectares, 3 dos quais com indicativos de degradação (Andrade et al., 2016).

A área do MATOPIBA apresenta grande variedade de solos, considerando o 1º nível do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA 2011, Magalhães e Miranda (2014) destacam a ocorrência de 12 classes de solos, com predominância dos Latossolos (37,96%) seguido dos Neossolos (24,57%) e Plintossolos (19,24%). As classes de menor representatividade são os solos Argissolos (9,56%), Gleissolos (2,66%), Cambissolos (2,58%), Nitossolos (1,04%), Luvisolos (0,66%), Chernossolos (0,47%), Planossolos (0,31%), Dunas (0,19%) e Vertissolos (0,09%). Quanto ao relevo, 47,9% são de áreas planas (até 3% de declividade) e 33,7% de áreas suavemente onduladas (de 3% a 8%) (Bolfé et al., 2016).

A região possui três zonas climáticas: tropical Brasil central (53%), tropical zona equatorial (44%) e equatorial (3%) (Magalhães e Miranda, 2014). Segundo Oliveira Aparecido et al. (2021) as temperaturas médias anuais do ar na região variam de 19,8 a 29,1 °C, junho e julho são os meses que apresentam menores valores de temperatura do ar, com valores entre 20 e 21 °C na porção sul da região, localizada principalmente no extremo oeste baiano, e de 24 a 28 °C, na porção Centro-Oeste e Centro-Norte do MATOPIBA, temperaturas elevadas, acima de 30 °C, são frequentes entre setembro, outubro e novembro no

Centro-Norte e Noroeste do MATOPIBA, onde estão localizados os estados do Maranhão, Tocantins e Piauí.

Na região central do território predomina o clima tropical semiúmido (~78% do território), com temperaturas médias acima de 18°C em todos os meses do ano, e períodos de seca entre 4 e 5 meses. Já o limite leste é caracterizado por um clima semiárido, com baixa umidade e precipitação (6 meses secos) e temperaturas elevadas acima de 18°C em todos os meses do ano) (Magalhães e Miranda, 2014). A região possui duas estações climáticas bem definidas: uma seca, de maio a setembro, e outra chuvosa, de outubro a abril, com precipitação média anual de 800 mm a 2.000 mm (Andrade et al., 2016).

A região está integrada nos domínios das bacias hidrográficas do rio Tocantins (43%), do Atlântico Norte/Nordeste (40%) e do rio São Francisco (17%), abrange quatro regiões hidrográficas, Tocantins-Araguaia, Parnaíba, Atlântico Nordeste Ocidental e São Francisco, banhadas pelos rios Araguaia, Tocantins, São Francisco, Parnaíba, Itapicuru, Mearim, Gurupi e Pindaré, principais rios do MATOPIBA (Magalhães e Miranda, 2014).

Dados

Os dados utilizados neste trabalho consistem em séries históricas diárias de 54 anos de dados de precipitação pluviométrica, temperaturas do ar máximas e mínimas compreendendo o período de 1 de janeiro de 1950 a 31 de dezembro de 2004. Os pontos utilizados neste trabalho estão distribuídos espacialmente em cada microrregião inserida na área do MATOPIBA, para as quais foram obtidas médias dos dados diários da precipitação pluviométrica e das temperaturas do ar máximas e mínimas. A área de estudo compreende um recorte sobre a região do MATOPIBA, englobando 235 pontos de grade com resolução espacial de 0,5° (Figura 1). Os dados históricos de temperaturas do ar máximas e mínimas e precipitação foram adquiridos no site <https://www.2w2e.com/home/CIMP> da Water Weather Energy Ecosystembase, a base de dados disponibiliza dados diários históricos e futuros de temperatura e precipitação, esses dados diários cobrem o período de 1950 a 2099.

A base de dados históricos de reanálise disponível utiliza os conjuntos de dados de séries temporais (Time-series-TS) mensais, produzidos pela Climatic Research Unit - CRU da Universidade de East Anglia, esses são campos de

grade mensais com base em valores diários. Os dados CRU-TS-3.1 históricos de reanálise são reformatados do NetCDF em arquivos de texto legíveis para base de dados diária, com resolução de 0,5° (Harris et al., 2013; Ashraf Vaghefi et al., 2017; Harris et al., 2020).

Índices de extremos climáticos

Índices de extremos climáticos foram calculados para a região do MATOPIBA (Figura 1) usando o software RclimDex desenvolvido por Zhang e Yang (2004). O Pacote RclimDex (Versão 1.1) utilizado é de distribuição gratuita foi desenvolvido para um código em linguagem R e está disponível para download no website dos índices da Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices – ETCCDMI (<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>).

O RclimDex é projetado para fornecer uma interface amigável para calcular índices de extremos climáticos, incorporando assim, o ClimDex para um ambiente que não dependa de um sistema operacional específico, já que o ClimDex é um programa baseado no Microsoft Excel. O

Climdex foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da NOAA é uma ferramenta que proporciona um pacote computacional para calcular de índices de extremos climáticos para monitorar e detectar mudanças climáticas, sendo usado em oficinas CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre índices climáticos desde 2001 (Zhang e Yang, 2004).

A partir do RclimDex é possível determinar 27 índices de extremos derivados dos dados diários de temperatura e precipitação recomendados pela Equipe de Especialistas CCI/CLIVAR para Monitoramento e Índices de Detecção de Mudanças Climáticas - ETCCDMI, bem como alguns outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário (Zhang e Yang, 2004).

Na presente pesquisa foram analisados 23 (Tabela 1) dos 27 índices definidos pelo ETCCDMI, sendo 11 relativos aos dados de precipitação pluviométrica e 12 aos dados de temperatura do ar, na Tabela 1 constam os índices selecionados, suas definições e unidades.

Tabela 1. Índices de extremos climáticos do Rclimdex referentes à precipitação pluvial e à temperatura do ar utilizados neste estudo.

Índice	Definição	Unidade
Precipitação pluvial		
SDII	Precipitação média para dias com chuva ≥ 1 mm	milímetros
R10mm	Contagem anual de dias quando a precipitação ≥ 10 mm	dias
R20mm	Contagem anual de dias quando a precipitação ≥ 20 mm	dias
R25mm	Contagem anual de dias quando a precipitação ≥ 25 mm	dias
RX1day	Precipitação máxima mensal de 1 dia	milímetros
RX5day	Precipitação máxima mensal consecutiva de 5 dias	milímetros
CDD	Duração máxima do período de seca: número máximo de dias consecutivos com precipitação diária < 1 mm	dias
CWD	Duração máxima do período de chuva: número máximo de dias consecutivos com precipitação diária ≥ 1 mm	dias
R95p	Precipitação total anual quando a precipitação diária $> 95^\circ$ percentil	milímetros
R99p	Precipitação total anual quando a precipitação diária $> 99^\circ$ percentil	milímetros
PRCPTOT	Precipitação total anual em dias úmidos	milímetros
Temperatura do ar		
SU	Número de dias quando TX (temperatura máxima diária) $> 25^\circ\text{C}$	dias
TR	Número de dias quando TN (temperatura mínima diária) $> 20^\circ\text{C}$	dias
TXx	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	$^\circ\text{C}$
TNx	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	$^\circ\text{C}$
TXn	Valor mínimo mensal de temperatura máxima diária	$^\circ\text{C}$
TNn	Valor mínimo mensal de temperatura mínima diária	$^\circ\text{C}$
TX10p	Porcentagem de dias quando TX $<$ percentil 10 (dias frios)	%
TX90p	Porcentagem de dias quando TX $>$ percentil 90 (dias quentes)	%
TN10p	Porcentagem de dias quando TN $<$ percentil 10 (noites frias)	%
TN90p	Porcentagem de dias quando TN $>$ percentil 90 (noites quentes)	%
WSDI	Índice de duração do período de aquecimento: contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos quando TX $>$ percentil 90	dias
DTR	Faixa de temperatura diária: diferença média mensal entre TX e TN	$^\circ\text{C}$

Os resultados para alguns dos índices podem ser obtidos tanto anualmente quanto mensalmente pelo RclimDex, neste estudo foram considerados apenas valores anuais. Os índices de extremos climáticos foram obtidos para 31 microrregiões inseridas no MATOPIBA utilizando os valores médios diários de precipitação pluvial e temperatura do ar dos pontos de grade inseridos em cada microrregião. Estes também foram obtidos para regiões homogêneas resultantes da análise de agrupamento, sendo feitas as médias de precipitação e temperatura para as regiões homogêneas e em seguida calculados os índices.

A saída do Rclimdex fornece, para cada índice, dados estatísticos, tais como tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados, nível de significância estatística da tendência (valor-p) por meio do Teste de Fisher, coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão de estimativa, assim como gráficos das séries anuais (Zhang e Yang, 2004). Sendo assim, a tendência dos índices de detecção de mudanças climáticas foi analisada a partir dos resultados estatísticos gerados pelo software Rclimdex.

As tendências foram avaliadas quanto a sua intensidade e aos valores que dos índices apresentaram (positivos ou negativos), valores positivos indicando uma tendência crescente e valores negativos indicando uma tendência decrescente. Sendo consideradas como possíveis tendências climáticas os índices que apresentaram valores de tendência linear (positiva ou negativa) superior ao erro padrão de estimativa e estatisticamente significativa (ao nível de 5%), obtidos pelo Teste de Fisher, gerado pelo software.

Análise hierárquica de agrupamento

A análise de Agrupamento, tem como objetivo criar grupos, classificando indivíduos em grupos distintos, com características semelhantes no seio de uma população. A classificação dos indivíduos é feita a partir de uma função de agrupamento denominada distância ou similaridade e de um critério matemático de agrupamento. Nos métodos hierárquicos vários critérios de agrupamentos são possíveis, como: Ligação Simples; Ligação Completa; Ligação Média; Método Centróide e Método de Ward, dentre outros (Wilks, 2006; Richman e Adrianto, 2010; Strauss e Maltitz, 2017).

Neste trabalho foram utilizados valores máximos do índice simples de intensidade diária de precipitação - SDII para obtenção de regiões homogêneas-RH, com intuito de avaliar as

tendências dos indicadores de eventos extremos por sub-regiões na área do MATOPIBA. A determinação das RH será obtida pelo método de agrupamento hierárquico de Ward 1963, segundo uma função de agrupamento (distância) e um critério matemático de inércia.

A função de dissimilaridade é usada para medir a distância entre dois indivíduos, para designar o quanto eles são semelhantes. Na medida de similaridade, quanto menor for o valor observado, mais parecido serão os elementos (Linden, 2009; Vicini, 2005). A distância euclidiana é a medida de dissimilaridade mais comumente empregada quando todas as variáveis são quantitativas (Seidel et al., 2008; Everitt et al., 2011). Essa medida de distância entre dois indivíduos é obtida pela raiz quadrada da soma dos quadrados das diferenças de valores para cada elemento, sendo definida pela Equação (1):

$$d_{ij} = [X_i - X_j] = \left[\sum_{k=1}^p (X_{ik} - X_{jk})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

em que: d_{ij} é a distância entre dois elementos X_i e X_j , $i \neq j = 1, \dots, n$ (total de elementos da amostra); X_{ik} é o elemento observado da k -ésima variável do elemento de amostra i ; X_{jk} é o elemento observado da k -ésima variável do elemento de amostra j ; e p variáveis usadas $X_1 \dots X_p$.

O método de variância de Ward (1963), é um procedimento que busca formar grupos hierárquicos que possam minimizar a variância dos elementos dentro destes grupos. Este método consiste em um procedimento de agrupamento hierárquico no qual a medida de similaridade usada para juntar agrupamentos é calculada como a soma de quadrados da distância euclidiana às médias dos grupos feita sobre todas as variáveis. Um grupo será reunido a um outro se a reunião proporcionar o menor valor da variância intragrupo (Hair Jr. et al., 2005; Vicini, 2005).

A perda de informações que resulta da diferença entre soma dos erros quadrados da distância e às médias dos grupos pode ser indicada por um coeficiente que corresponde a variação atribuída ao erro, a soma dos quadrados do erro (ESS), que pode ser obtido pela relação funcional, conforme Equação (2) (Ward, 1963):

$$ESS = \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \quad (2)$$

em que: n é o número total de elementos do agrupamento; x_i é o i -ésimo elemento do agrupamento.

Resultados e discussão

Índices de extremos de precipitação pluvial

As tendências anuais dos índices extremos de precipitação pluvial para as diferentes microrregiões da região do MATOPIBA, juntamente com seu nível de significância, são observadas na Tabela (2), os índices com significância estatística, ou seja, apresentaram valor de ($p < 0,05$) estão marcados em negrito. Independentemente do índice, apenas algumas localidades mostraram tendências estatisticamente significativas, dentre os 11 índices analisados, foram verificadas tendências negativas estatisticamente significantes apenas para o índice de precipitação máxima mensal consecutiva de 5 dias - Rx5day e tendências positivas estatisticamente significantes para os índices de dias secos consecutivos - CDD e dias úmidos - CWD. Isso é esperado devido à variabilidade espacial e temporal no volume de precipitação ao

longo da região MATOPIBA. Reis et al. (2020) destacam que a quantidade e a distribuição das chuvas, na região do MATOPIBA, sofrem variações em virtude de diferentes cenários meteorológicos associados a mecanismos de grande escala, assim como alterações indicadas nas projeções de mudanças climáticas.

Analisando as tendências dos índices Rx1day e Rx5day, é possível verificar que respectivamente 61,29% e 64,52% das localidades (Figura 2) apresentaram tendências negativas, indicando que nessas porções da área a precipitação máxima anual de 1 dia e de 5 dias experimentou uma redução para o período de 1950-2004. Pode-se observar que para o índice de precipitação máxima mensal consecutiva de 5 dias-Rx5day apenas duas localidades (as microrregiões de Baixo Parnaíba Maranhense e Lençóis Maranhenses) da porção norte da região apresentaram tendências negativas estatisticamente significativas, ou seja, redução de intensidade.

Tabela 2. Tendências anuais dos índices extremos de precipitação pluvial para as microrregiões do MATOPIBA.

Micros/Estado	Rx1day	Rx5day	SDII	R95p	R99p	PRCPTOT	CDD	CWD	R10mm	R20mm	R25mm
Lençóis Maranhenses-MA	-0,123	-0,61	-0,012	-2,082	-0,171	-5,157	0,53	-0,224	-0,189	-0,086	-0,07
Itapecuru Mirim-MA	0,045	-0,164	-0,006	-1,246	-0,592	-4,862	0,263	-0,329	-0,135	-0,039	-0,035
Baixo Parnaíba Maranhense-MA	-0,053	-0,472	-0,004	-1,07	-0,205	-3,808	0,378	-0,188	-0,131	-0,036	-0,007
Chapadinha-MA	-0,107	-0,474	-0,006	-1,644	-1,162	-5,324	0,155	-0,261	-0,157	-0,081	-0,034
Codó-MA	0,046	-0,167	0,008	-1,081	0,279	-3,265	0,282	-0,169	-0,107	-0,003	-0,037
Coelho Neto-MA	-0,003	-0,264	0,002	-1,386	-0,63	-3,38	0,231	-0,223	-0,097	-0,003	-0,042
Caxias-MA	-0,075	-0,048	0,01	0,307	-0,177	-1,551	0,302	0,201	0,007	0,02	0,007
Chapadas do Alto Itapecuru-MA	-0,05	-0,161	0,007	-0,59	-0,14	-1,091	0,131	0,137	0,071	0	-0,006
Médio Mearim-MA	0,041	-0,128	0,006	-0,464	0,612	-3,103	0,318	-0,121	-0,132	-0,026	-0,012
Alto Mearim e Grajaú-MA	-0,01	0,036	0,008	0,245	0,208	-1,412	0,298	0,292	0,057	0,008	0,001
Presidente Dutra-MA	-0,046	-0,015	0,007	0,243	0,035	-1,471	0,386	0,174	0,034	0,006	0,002
Imperatriz-MA	-0,039	-0,184	0,003	-0,105	-0,426	-2,69	0,314	-0,144	-0,057	-0,003	-0,007
Porto Franco-MA	0,043	-0,079	0,008	-0,008	0,423	-1,642	0,191	0,357	0,008	0,02	0,006
Chapadas das Mangabeiras-MA	-0,063	-0,139	0,005	0,536	-0,131	-1,094	0,191	0,45	-0,048	0,009	-0,002
Gerais de Balsas-MA	-0,057	-0,054	0,002	-0,296	-0,392	-1,201	0,407	0,105	-0,01	-0,025	-0,008
Bertolínia-PI	0,018	0,127	0,005	0,308	0,263	-0,575	0,39	0,128	0,002	0,013	-0,001
Alto Parnaíba Piauiense-PI	-0,037	0,086	0,006	-0,111	-0,15	-0,684	0,572	0,033	0,002	0,009	-0,004
Alto Médio Gurguéia-PI	-0,058	0,031	0,005	-0,72	0,122	-0,189	0,735	0,21	0,006	-0,025	0,006
Chapadas do Extremo Sul Piauiense-PI	-0,045	-0,052	0,001	-0,208	-0,054	0,335	0,701	0,317	0,038	-0,006	0
Bico do Papagaio-TO	-0,019	-0,134	0,006	-0,705	-0,327	-2,732	0,292	0,019	-0,011	-0,016	-0,006
Araguaína-TO	0,005	-0,156	-0,002	-0,833	-0,262	-3,22	0,281	0,311	-0,102	-0,036	-0,018
Miracema do Tocantins-TO	0,003	-0,18	0,001	-0,329	-0,192	-2,073	0,166	-0,155	-0,008	-0,011	0,006
Rio Formoso-TO	-0,074	-0,027	0,001	-0,527	-0,079	-0,87	0,422	0,047	-0,028	-0,001	0,003
Gurupi-TO	0,053	0,163	0,001	0,679	0,062	-0,911	0,512	-0,03	-0,035	0,02	0,005
Jalapão-TO	-0,009	0,025	0,003	-0,422	-0,104	-1,176	0,508	0,006	-0,049	-0,019	-0,002
Porto Nacional-TO	-0,036	-0,066	0,003	-0,596	0,022	-1,504	0,414	-0,024	-0,054	-0,014	-0,001
Dianópolis-TO	0,052	0,062	0,002	-0,259	0,304	-0,725	0,704	0,115	-0,03	-0,016	0,01
Cotegipe-BA	-0,019	-0,056	0,003	0,097	0,072	0,787	0,58	0,174	0,008	0,001	0,015
Barreiras-BA	0,033	0,07	0,007	0,335	0,267	0,447	0,646	0,18	0,01	0,005	0,003
Santa Maria da Vitória-BA	0,07	0,147	0,001	0,018	0,04	-0,395	0,428	0,098	-0,074	-0,006	0,019
Bom Jesus da Lapa-BA	0,024	-0,034	-0,002	-0,106	-0,096	0,242	0,485	0,079	0,008	-0,004	-0,012

Valores em negrito representam significância ao nível de 5% ($p < 0,05$).

A Precipitação média para dias com chuva ≥ 1 mm – SDII, apresentou tendências positivas predominantes (80,65 % das microrregiões) e 19,35 % das microrregiões com tendências negativas, dentre as quais, quatro estão localizadas na porção norte da região do MATOPIBA. Embora não tenham sido obtidos resultados significativos para o índice SDII, pode-se verificar que os valores obtidos indicam tendência de aumento.

Considerando os índices de dias muito úmidos - R95p e dias extremamente úmidos (R99p), que significam o 95º e 99º percentis de precipitação em dias úmidos no período estudado, respectivamente, não foram observadas tendências estatisticamente significantes, sendo predominantes tendências negativas, indicando uma redução no número de eventos de precipitação intensa. Para o índice de precipitação total anual - PRCPTOT foram observadas predominância de tendências negativas e ausências de tendências estatisticamente significantes, mesmo comportamento observado para os índices R95p e R99p, evidenciando redução predominante dos eventos de extremos de precipitação. Este índice apresentou tendências positivas apenas para as microrregiões Chapadas do Extremo Sul Piauiense, Cotegipe, Barreiras e Bom Jesus da Lapa.

Os índices de dias secos consecutivos - CDD e dias úmidos - CWD apresentaram tendências significativas positivas. Pode-se observar que o índice CDD apresentou apenas tendências positivas, sendo significativas para 6 microrregiões inseridas na porção sudeste da região do MATOPIBA, indicando que o número de dias secos consecutivos aumentou significativamente para estas localidades, enquanto o índice CWD apresentou tendências positivas significativas apenas para a microrregião Chapadas do Extremo Sul Piauiense, um fato interessante merece destaque para esta microrregião o índice CDD também apresentou tendência positiva estatisticamente significativa.

Os resultados das tendências obtidos para os índices CDD e CWD concordam com os obtidos por Costa et al. (2020), que verificaram predominância de tendências positivas para a região Nordeste do Brasil, que compreende com exceção do Tocantins as demais porções do MATOPIBA. Costa et al. (2020) destaca que teoricamente, tendências opostas seriam esperadas entre os índices CDD e CWD, porém também obteve nos seus resultados tendências de CWD e CDD igualmente positivas. Pode-se observar na

(Tabela 2) que o índice CWD apresentou tendências negativas para onze microrregiões, sendo possível notar a redução do número de dias úmidos consecutivos para 35,48% (Figura 2) das microrregiões.

Considerando os índices PRCPTOT e CDD pode-se verificar que para 27 microrregiões das 31 o PRCPTOT apresenta tendência negativa, ou seja redução da precipitação total anual, enquanto o CDD apresentou tendência positiva, dessa forma destaca-se o aumento dos dias consecutivos secos em um ano, em todas as microrregiões. Verifica-se que das 4 microrregiões com tendências crescentes para a precipitação total, 1 encontra-se inserida no estado do Piauí, e as demais no estado da Bahia.

Assis et al., (2022) ao avaliarem índices de extremos climáticos de precipitação para o trecho Submédio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, localizado na região semiárida do Nordeste do Brasil, verificaram tendência decrescente das chuvas em toda a sub-bacia do Submédio Rio São Francisco, sendo mais intensa na parte Norte da região, localizada principalmente no Estado de Pernambuco, já para as localidades da porção da bacia inseridas no estado da Bahia a tendência negativa foi menos evidente, no qual destacam que resultados semelhantes foram encontrados por Silva, et al., (2012), que avaliaram os índices de detecção de mudanças climáticas para o Estado da Bahia no período de 1970 a 2006; e diagnosticou que embora sem significância estatística a precipitação total anual apresentou tendência de redução para as localidades de barreiras e Santa Rita de Cássia e aumento para a localidade de Correntina, localizadas na região Oeste do estado da Bahia.

Reis (2020) obteve para a região do MATOPIBA apenas tendências positivas para o índice CDD, sendo que, apenas uma das sub-regiões de precipitação resultantes de agrupamento, que compreende áreas com precipitação acumulada anual de 1400 mm, apresentou tendência positiva estatisticamente significativa. Nesta sub-região encontram-se inseridas totalmente ou parcialmente as microrregiões Alto Parnaíba Piauiense, Alto Médio Gurguéia, Chapadas do Extremo Sul Piauiense, Cotegipe, Barreiras para as quais, assim como os resultados de Reis (2020), as tendências foram crescentes estatisticamente significativas, indicando que durante o período analisado foi verificado aumento em dias secos consecutivos.

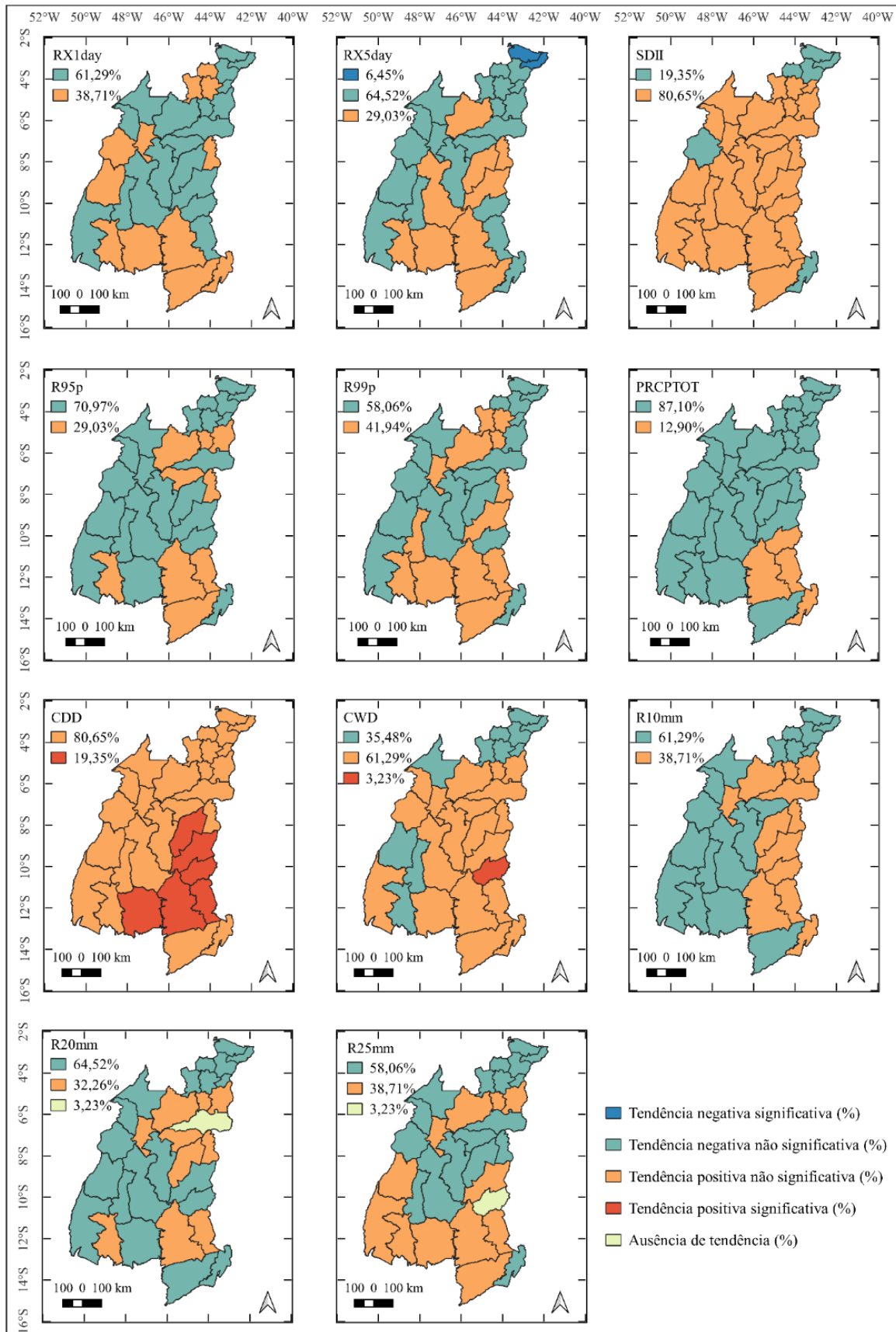


Figura 2. Distribuição da porcentagem de microrregiões com tendências significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$), não significativas e ausência de tendências para os índices precipitação pluvial para a região do MATOPIBA.

O número de dias de forte precipitação, representado pelos índices R10mm, R20 mm e R25mm, não apresentou tendências estatisticamente significativas, sendo possível verificar que respectivamente 61,29 %, 64,52 % e 58,06 % (Figura 2) das microrregiões apresentaram tendências negativas. Sendo assim, no período 1950-2004, houve uma redução no número de 333 dias com intensidade de precipitação maior ou igual a 10 mm.

Os resultados obtidos para as tendências dos índices Rx1day, R95p, R99p, PRCPTOT, CWD, R10mmn e R20mm para as microrregiões inseridas no estado do Maranhão em geral concordam com os obtidos por Santos et al. (2020). Considerando os resultados de Costa et al. (2020) foram verificados padrões de tendência crescente ou decrescente não significativas para os índices extremos PRCPTOT, SDII, R95p e R10mm o que corrobora com os resultados destes índices obtidos para as microrregiões da região do MATOPIBA inseridas região Nordeste do Brasil.

Índices de extremos de temperatura do ar

As tendências anuais dos índices extremos de temperatura do ar para as diferentes microrregiões do MATOPIBA podem ser observadas na Tabela (3), os índices com significância estatística, ou seja, apresentaram valor de $p < 0,05$ estão marcados em negrito. Os resultados de tendência para o número de dias com temperatura máxima diária $> 25^{\circ}\text{C}$ (SU indicam ausência de tendências estatisticamente significantes. Todavia o índice SU apresentou tendência positiva para 90,32% das microrregiões, foram obtidas tendências negativas apenas para as microrregiões de Dianópolis e Itapeturu Mirim no Tocantins (localizadas respectivamente no sul e norte da área) e nenhuma tendência para microrregião de Miracema do Tocantins - TO (localizada no oeste da área).

Sendo assim, a contagem anual de dias em que a temperatura máxima diária foi superior a 25°C permite observar que número de dias de verão aumentou relativamente para maior parte da região do MATOPIBA. Os resultados obtidos por Reis (2020) para este índice apresentaram tendências positivas e negativas, as tendências decrescentes foram verificadas para uma área na qual as microrregiões de Dianópolis e Itapeturu Mirim encontram-se inseridas, porém é uma área que possui abrangência relativamente maior que a área observada neste trabalho.

O índice de noites tropicais - TR20 apresentou apenas tendências negativas estatisticamente significativas em 7 microrregiões (22,58%) Tabela (3) e Figura (3), inseridas respectivamente na região da Amazônia Oriental e mesorregiões Ocidental e Oriental do Tocantins. Sugerindo que existe uma tendência de redução da temperatura do ar noturna principalmente para estas microrregiões do MATOPIBA. Os resultados obtidos por Costa et al. (2020) e Reis (2020) para a região do MATOPIBA evidenciaram que o número anual de dias em que a temperatura mínima do ar foi superior a 20°C - TR está aumentando. Para o estado do Maranhão Santos et al. (2020) definiram limites (entre 23°C e 25°C) para este índice, também observando que os resultados obtidos indicam uma tendência positiva no número de dias em que o TMin excedeu 20°C .

Os valores mensais máximo - TXx e mínimo - TXn das tendências dos índices diários de temperatura máxima e aos valores extremos das temperaturas mínimas diárias, como máxima mensal - TNx e mínima - TNn são apresentados na Tabela (3). O índice TXx exceto para a microrregião de Bom Jesus da Lapa que apresentou ausência de tendência, mostrou apenas tendência positiva, sendo estas estatisticamente significativas para 70,97% das microrregiões. Já o índice TXn apresentou tendências não significativas, decrescentes e crescentes correspondendo a respectivamente 32,26 % e 54,84% e ausência de tendência para 12,90 % das microrregiões (Figura 3). Foram observadas tendências positivas significativas para o índice TNx (38,71%) e tendências negativas significativas para o índice TNn (35,48%). Tendências negativas significativas do índice TNn foram verificadas por Reis (2020) para as sub-regiões de precipitação homogênea nas quais microrregiões inseridas nos estados da Bahia e Piauí encontram-se inseridas nestes estados.

Os resultados do índice TXx são condizentes com os obtidos por Costa et al. (2020) que verificaram que o índice TXx apresentou tendência de aumento, com extrema significância estatística ($p < 0,01$). Já para o TXn Costa et al. (2020) obtiveram resultados que evidenciam leve tendência de queda para áreas ao norte da Região Nordeste do Brasil, concordando como os obtidos neste trabalho para as microrregiões inseridas nessa porção da região, porém divergindo dos resultados para as microrregiões localizadas nas áreas ao sul, já que Costa et al. (2020) verificaram a presença de tendências significativas na porção sul da região Nordeste do Brasil.

Tabela 3. Tendências anuais dos índices extremos de temperatura do ar para as microrregiões do MATOPIBA.

Micros/Estado	SU	TR20	TXx	TXn	TNx	TNn	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	DTR
Lençóis Maranhenses-MA	0,001	0,003	0,008	0,011	0,007	0,005	-0,168	0,188	-0,03	0,109	0,589	0,009
Itapecuru Mirim-MA	-0,001	0,076	0,027	-0,003	0,012	0,005	-0,176	0,228	-0,119	0,121	0,574	0,012
Baixo Parnaíba Maranhense-MA	0,001	0,02	0,01	0,008	0,007	0,009	-0,173	0,166	-0,084	0,113	0,508	0,007
Chapadinha-MA	0,001	0,054	0,018	0,004	0,012	0,007	-0,182	0,214	-0,1	0,101	0,541	0,01
Codó-MA	0,001	0,121	0,031	-0,004	0,006	0,007	-0,153	0,229	-0,145	0,122	0,441	0,011
Coelho Neto-MA	0,001	0,101	0,021	0,001	0,009	0,008	-0,152	0,215	-0,123	0,104	0,413	0,01
Caxias-MA	0,001	0,07	0,023	0,007	0,009	0,008	-0,134	0,17	-0,135	0,096	0,249	0,007
Chapadas do Alto Itapecuru-MA	0,002	0,016	0,02	0,008	0,012	0,005	-0,097	0,109	-0,135	0,122	0,259	0,005
Médio Mearim-MA	0,001	0,121	0,035	-0,005	0,008	0,007	-0,151	0,221	-0,158	0,11	0,391	0,012
Alto Mearim e Grajaú-MA	0,002	0,125	0,032	0,002	0,012	0,002	-0,141	0,155	-0,133	0,082	0,284	0,011
Presidente Dutra-MA	0,001	0,082	0,028	0,005	0,01	0,006	-0,129	0,163	-0,149	0,104	0,296	0,008
Imperatriz-MA	0,001	0,064	0,045	-0,006	0,007	0,001	-0,136	0,232	-0,124	0,086	0,462	0,015
Porto Franco-MA	0,005	-0,077	0,029	0,003	0,013	-0,009	-0,116	0,118	-0,049	0,03	0,307	0,016
Chapadas das Mangabeiras-MA	0,006	-0,041	0,023	0,008	0,012	-0,001	-0,099	0,08	-0,114	0,065	0,215	0,007
Gerais de Balsas-MA	0,012	-0,311	0,022	0,007	0,005	-0,02	-0,096	0,097	0,027	-0,032	0,169	0,016
Bertolínia-PI	0,007	-0,025	0,009	0,003	0,008	0,003	-0,061	0,044	-0,098	0,087	0,127	0
Alto Parnaíba Piauiense-PI	0,007	-0,034	0,012	0,002	0,009	-0,006	-0,061	0,058	-0,064	0,036	0,077	0,005
Alto Médio Gurguéia-PI	0,002	-0,037	0,012	-0,006	0,005	-0,011	-0,034	0,01	-0,033	0,021	-0,091	0,002
Chapadas do Extremo Sul Piauiense-PI	0,009	-0,022	0,015	-0,006	0,007	-0,01	-0,028	-0,005	-0,025	-0,001	-0,118	0,002
Bico do Papagaio-TO	0,002	-0,16	0,041	0	0,013	-0,007	-0,139	0,213	-0,042	0,055	0,532	0,02
Araguaína-TO	0,008	-0,448	0,037	0,001	0,008	-0,022	-0,146	0,186	0,08	-0,016	0,376	0,026
Miracema do Tocantins-TO	0	-0,742	0,029	0	0,002	-0,035	-0,134	0,152	0,155	-0,088	0,258	0,03
Rio Formoso-TO	0,006	-0,567	0,03	0,003	-0,002	-0,025	-0,102	0,091	0,088	-0,071	0,166	0,024
Gurupi-TO	0,003	-0,932	0,027	-0,004	-0,006	-0,037	-0,106	0,087	0,184	-0,153	0,087	0,031
Jalapão-TO	0,013	-0,832	0,026	0,001	-0,003	-0,037	-0,104	0,11	0,144	-0,123	0,15	0,025
Porto Nacional-TO	0,005	-0,944	0,029	0	-0,003	-0,042	-0,116	0,124	0,202	-0,15	0,168	0,031
Dianópolis-TO	-0,001	-1,036	0,023	-0,006	-0,007	-0,039	-0,085	0,058	0,185	-0,157	0,044	0,028
Cotegipe-BA	0,009	-0,009	0,007	-0,003	0,009	-0,011	-0,011	-0,013	0,007	-0,017	-0,185	0,001
Barreiras-BA	0,023	-0,191	0,015	-0,005	0,003	-0,023	-0,044	0,012	0,066	-0,061	-0,07	0,011
Santa Maria da Vitória-BA	0,07	-0,175	0,013	0	0,002	-0,02	-0,051	-0,021	0,058	-0,084	-0,2	0,009
Bom Jesus da Lapa-BA	0,041	-0,236	0	0,002	0,005	-0,017	-0,019	-0,033	0,038	-0,044	-0,18	0,005

Valores em negrito representam significância ao nível de 5% ($p < 0,05$).

Em seus resultados Santos et al. (2020) verificaram que os índices TXx e TNx para o estado do Maranhão, apresentaram para todas as estações tendências positivas e estas foram predominantemente estatisticamente significativas o que corrobora com os resultados destes índices obtidos para as microrregiões inseridas no estado do Maranhão.

Resultados semelhantes aos alcançados neste estudo para localidades inseridas no estado do Maranhão foram verificadas por Joseph et al., (2021) em que tendências significativas positivas a 10% foram obtidas para os índices SU25, TR20, TXx, TNx, DTR, TX90p, TN90p e significativas negativas a 10% para TX10p, TN10p.

O índice que representa o número de dias quentes TX90p mostrou predominância de tendências positivas em 83,87% das microrregiões do MATOPIBA, sendo verificado aumento significativo para microrregião de Imperatriz-MA. No caso de noites quentes TN90p, foram observadas tendências positivas e negativas, sendo

estas estatisticamente significativas apenas para 3,23% e 19,35% das microrregiões, respectivamente. As tendências negativas estatisticamente significativas são verificadas para 6 das 7 microrregiões inseridas no estado do Tocantins o que significa que o estado apresentou diminuição no número de noites quentes, já a tendência positiva estatisticamente significativas foi observada apenas para Chapadas do Alto Itapecuru no estado do Maranhão. Os resultados para estes índices indicam que a região do MATOPIBA experimentou para o período analisado aumento na frequência de dias quentes por ano e redução noites quentes por ano. O índice TX10p porcentagem de dias quando TX <percentil 10 (dias frios) apresentou apenas tendências negativas, sendo estas estatisticamente significativas para 16,13% (Figura 3) das microrregiões. Para o índice TN10p que representa a porcentagem de dias quando TN <percentil 10 (noites frias), foram observadas tendências crescentes e decrescentes estatisticamente significativas.

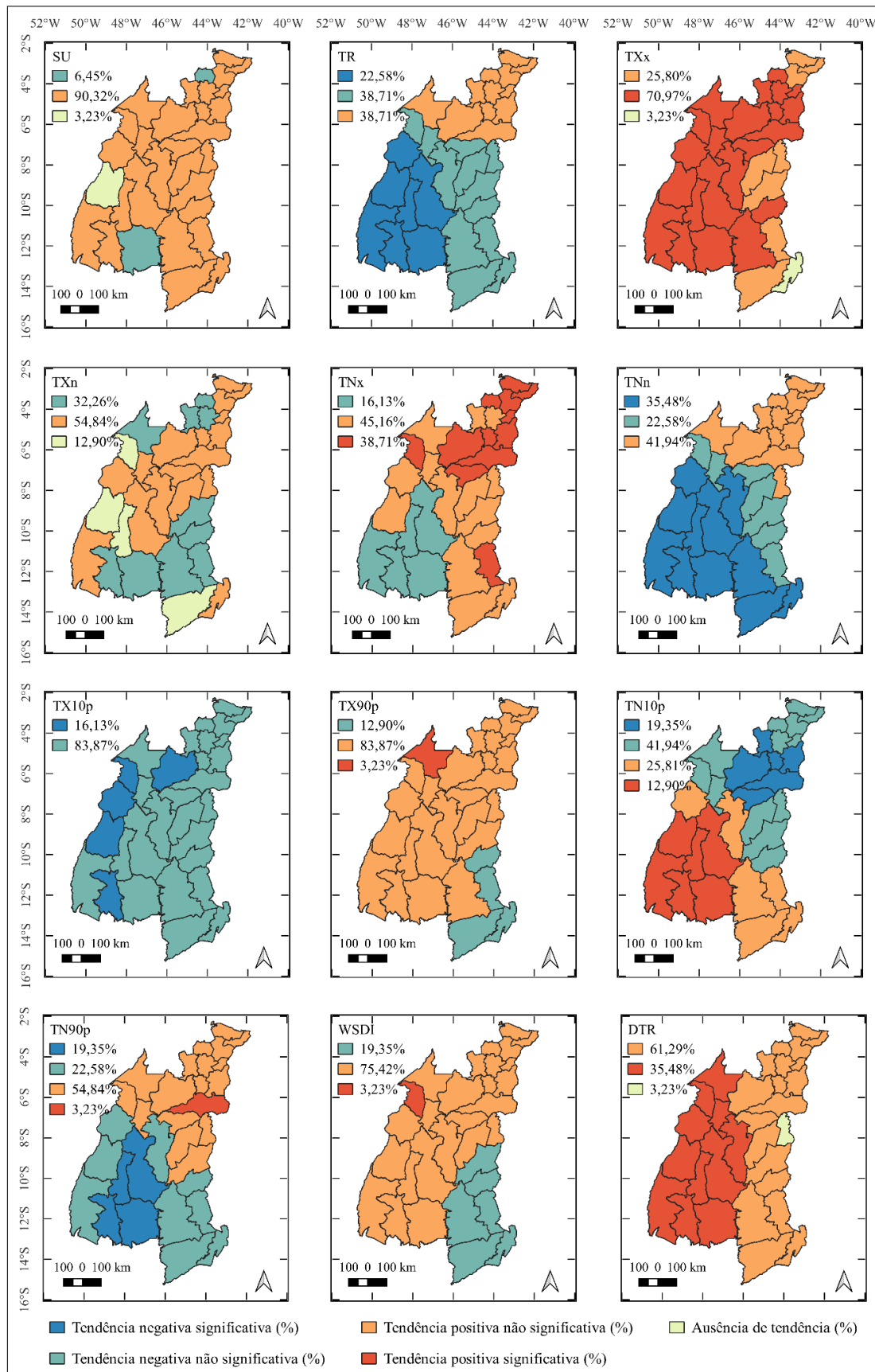


Figura 3. Distribuição da porcentagem de microrregiões com tendências significativas ao nível de 5% ($p < 0,05$), não significativas e ausência de tendências para os índices de temperatura do ar para a região do MATOPIBA

Reis (2020) obteve reduções significativas (ao nível de 1%) para o índice TX10p em todas as sub-regiões homogêneas de precipitação analisadas, já para o índice TN10p os resultados mostraram uma diminuição estatisticamente significativa (ao nível de 1%) em três das sub-regiões homogêneas de precipitação que correspondem principalmente às porções das áreas dos estados do Tocantins e Maranhão, faixa ao leste e oeste do Piauí e Bahia, com maior redução na região homogênea que abrange as microrregiões para as quais os resultados obtidos neste trabalho foram decrescentes significativos. Costa et al. (2020) verificaram que os resultados dos índices TX10p e TN10p mostraram tendências decrescentes significativas estatisticamente para respectivamente áreas dos estados do Maranhão e do Piauí e para a toda a Região Nordeste do Brasil.

O índice WSDI expresso pelo aumento na contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos com temperatura máxima acima do percentil 90º, apresentou tendências crescentes e decrescentes, porém apenas para a microrregião Bico do Papagaio foi verificada tendência crescente estatisticamente significativa. O índice Faixa de temperatura diária que é a diferença média mensal entre TX e TN - DTR exceto para a microrregião Bertolínia, na qual foi observada ausência de tendência, apresentou apenas tendências positivas, sendo estas significativas para 35.48% (Figura 3) das microrregiões, das quais sete compõe o estado do Tocantins e uma encontra-se inserida no sul do estado do Maranhão. Para o estado do Tocantins Joseph et al., (2021) verificaram que o índice DTR, apresentou para duas localidades tendências positivas estatisticamente significativas ao nível de 10 %.

Considerando a ausência de tendências significativas do índice DTR para as microrregiões inseridas no MATOPIBA, de modo geral os resultados do índice DTR concordam com os encontrados por Costa et al. (2020), em que o DTR não mostrou tendências significativas em nenhuma área da Região Nordeste do Brasil. Reis (2020) obteve tendências positivas (com significância estatística ao nível de 1%) para o índice DTR para duas sub-regiões homogêneas, nas quais algumas microrregiões que apresentaram aumento significativo para este índice neste trabalho encontram-se inseridas.

As tendências do índice TXx para estas microrregiões evidencia que as temperaturas máximas extremas estão aumentando, enquanto o TNn mostrou tendências negativas, evidenciando a

redução das temperaturas mínimas, concordando com o índice TR20 que mostra que as temperaturas noturnas diminuiram.

Tendências crescentes para os índices TXx, TNx e DTR e decrescentes para o índice TNn e estatisticamente significativas foram obtidas para quantidades expressivas de microrregiões (Figura 3) da região do MATOBIPA.

Distribuição espacial das regiões homogêneas

O índice simples de intensidade diária de precipitação – SDII, obtido pela razão entre a quantidade de precipitação pluvial igual ou superior a 1 mm total anual e o número de dias chuvosos no ano, representa a avaliação dos dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 1 mm ao longo da série histórica. Os resultados deste índice representam informações relevantes para caracterização da região, Souza et al. (2012) destacam que este índice se associa à diferentes fenômenos climáticos que promovem a redução ou intensificação das chuvas em caráter regional.

É possível observar a partir da Figura 4 a distribuição espacial das regiões homogêneas obtidas segundo a análise de agrupamento usando a técnica hierárquica de Ward (1963). A análise de cluster permitiu a divisão da região do MATOPIBA em cinco sub-regiões considerando os valores máximos do índice de intensidade de precipitação simples - SDII. O Grupo 1 - G1 abrange nove microrregiões com valores máximos do SDII entre 7,7 e 10,4 mm inseridas no sudeste do Maranhão e o sudoeste do Piauí e o Grupo 5 - G5 engloba três microrregiões, com valores máximos do SDII entre 8,3 e 10,4 mm, duas no sudoeste do Maranhão e uma no norte do Tocantins. Estes grupos são compostos predominantemente por microrregiões que apresentaram valores baixos para os máximos do índice SDII.

As áreas caracterizadas pelos Grupos G2 e G5, correspondem as porções de duas das quatro sub-regiões de precipitação homogênea obtidas por Reis (2020) usando a análise de agrupamento para os totais anuais de precipitação na região do MATOPIBA, essas sub-regiões são respectivamente cluster III (CIII), com precipitação anual total de 1400 mm e cluster IV (CIV), com precipitação acumulada anual de 1682 mm, sendo estas as sub-regiões que apresentam índices altos de precipitação. Demonstrando que áreas com índices de precipitação relativamente significativos podem não corresponder a áreas de valores mais altos do índice SDII.

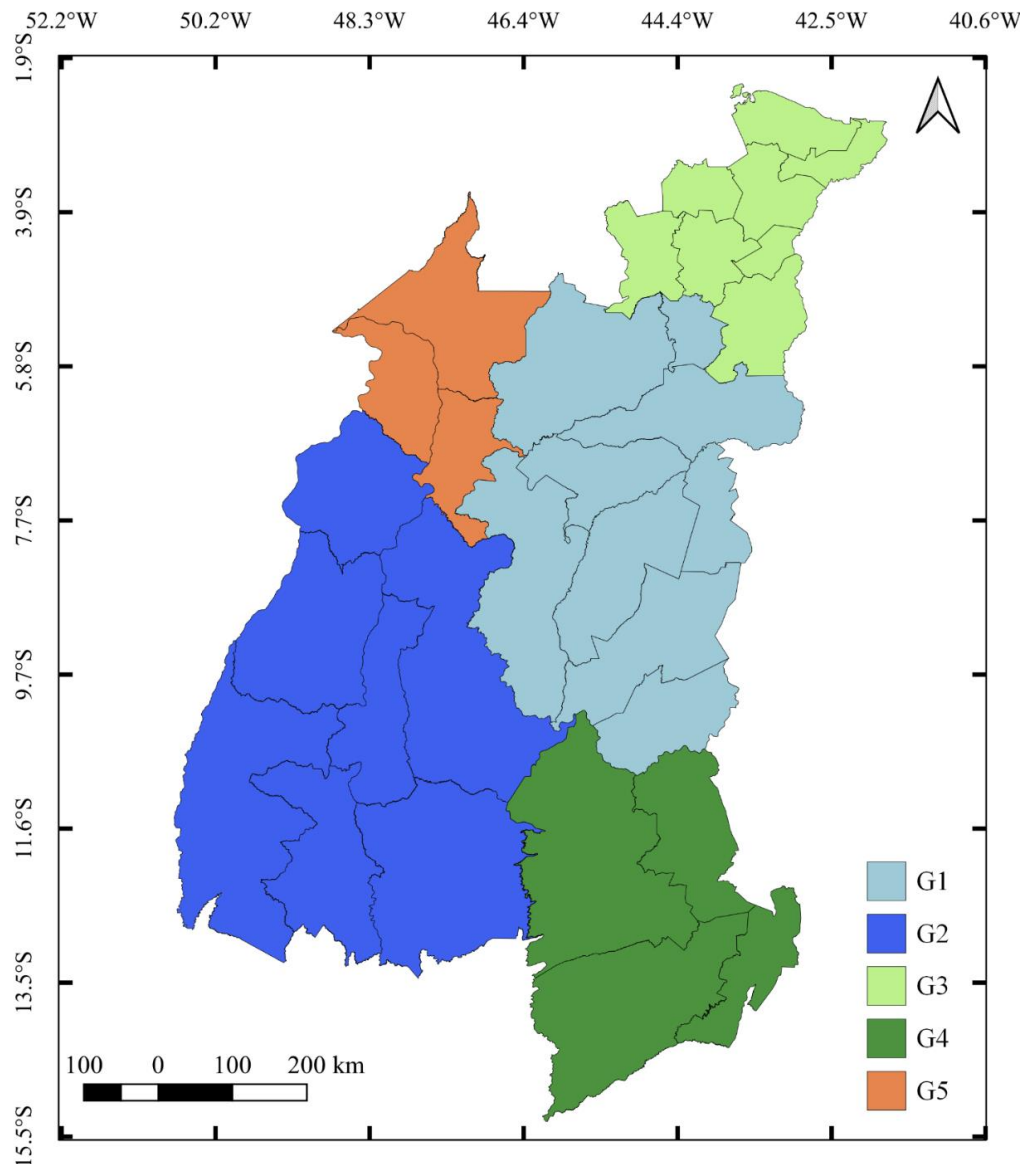


Figura 4. Distribuição espacial das regiões homogêneas obtidas usando análise de agrupamento com base nos valores máximos do SDII para a região do MATOPIBA.

O Grupo 2 - G2, abrange com exceção de Bico do Papagaio as demais regiões do estado do Tocantins, para este grupo foram obtidos valores máximos do SDII entre 9,5 e 11,1 mm. As microrregiões da região nordeste do estado do Maranhão compõem o Grupo 3 - G3 com valores máximos do índice SDII variando de 10,7 a 14 mm, a área ocupada pelo Grupo 4 - G4 inclui todas as microrregiões do estado da Bahia, com valores máximos do SDII entre 9,6 e 11,2 mm. Valores altos para os máximos do SDII são encontrados nas microrregiões inseridas nos grupos G2, G3 e G4, sendo que a maioria dos valores altos foram encontrados nas microrregiões que compõem o G3.

Ressalta-se que grupos com valores baixos do índice SDII, podem pertencer a microrregiões

com precipitações acumuladas elevadas, porém que foram registradas em maior quantidade de dias. Assim como, grupos com valores altos para o índice SDII podem ser inseridos em outras microrregiões com acumulados de precipitações baixas ou elevadas verificadas em menor quantidade de dias. As regiões homogêneas do índice são de extrema importância, porque é possível fazer uma análise mais precisa dos regimes de chuva utilizando o índice de dias com precipitação pluviométrica igual ou superior a 1 mm ao longo da série histórica nas sub-regiões, sem correr risco de perder informações importantes do conjunto de dados.

O resultado da análise de agrupamento permitiu identificar as regiões homogêneas e as

respectivas microrregiões que as compõem, sendo assim, foi possível obter para cada região homogênea séries temporais diárias de precipitação pluvial, temperatura do ar máxima e temperatura do ar mínima. Essas séries foram utilizadas para obtenção dos índices de extremos climáticos para as regiões homogêneas.

Índices de tendências de extremos climáticos por regiões homogêneas

As tendências anuais dos índices extremos de precipitação pluvial e temperatura do ar para as diferentes regiões homogêneas para a região do MATOPIBA, juntamente com seus respectivos níveis de significância, são observados nas Tabelas (4) e (5). Os índices com significância estatística ($p < 0,05$) estão marcados em negrito.

Considerando os resultados das tendências dos índices extremo de precipitação pluvial (Tabela 4) foi possível verificar que apenas o índice de dias secos consecutivos - CDD apresentou tendência significativa, apenas para o Grupo 4, sendo esta crescente. Dentre as tendências obtidas para as microrregiões observam-se que: o índice Rxday apresentou tendências decrescentes nas microrregiões de Baixo Parnaíba Maranhense e Lençóis Maranhenses inseridas no Grupo 3 - G3; para o índice CDW tendência crescente apenas na microrregião Chapadas do Extremo Sul Piauiense englobada pelo no Grupo 1 - G1; e para o índice CDD tendencias crescentes nas microrregiões Alto Parnaíba Piauiense, Alto Médio Gurguéia, Chapadas do Extremo Sul Piauiense, Grupo 1 - G1, Dianópolis Grupo 2 - G2, Cotegipe e Barreiras Grupo 4 - G4.

Tabela 4. Tendências anuais dos índices extremos de precipitação pluvial por regiões homogêneas para a região do MATOPIBA.

Grupos	Rx1day	Rx5day	SDII	R10mm	R20mm	R25mm	CDD	CWD	R95p	R99p	PRCPTOT
G1	-0,03	0,004	0,006	0,03	0,002	-0,002	0,21	0,18	-0,205	-0,008	-0,811
G2	-0,01	0,002	0,003	-0,078	0,022	-0,002	0,452	-0,128	-0,291	-0,098	-1,326
G3	0	-0,256	0,005	-0,103	-0,054	-0,013	0,234	-0,231	-1,539	-0,537	-3,495
G4	0,05	0,041	0,004	-0,008	0,007	0,003	0,669	0,198	0,084	0,184	0,232
G5	-0,027	-0,11	0,007	0,014	0,001	-0,013	0,228	0,029	-0,551	-0,005	-2,437

Valores em negrito representam significância ao nível de 5% ($p < 0,05$)

Para os resultados das tendências dos índices extremos de temperatura do ar (Tabela 5) foram observadas para os índices TXx nos grupos G1, G2, G3 e G5, TN10p no G2 e DTR nos grupos G2 e G5 tendências significativas crescentes, para os índices TNn no G2 e TN90p no G2 tendências

significativas decrescentes. Considerando os resultados por microrregiões para os índices TR20, WSDI, TX10p e TX90p foram verificadas tendências significativas, porém os resultados não foram refletidos para os grupos nas quais encontram-se inseridas.

Tabela 5. Tendências anuais dos índices extremos de temperatura do ar por regiões homogêneas para a região do MATOPIBA.

Grupos	SU25	TR20	TXx	TXn	TNx	TNn	TX10p	TX90p	TN10p	TN90p	WSDI	DTR
G1	0,005	-0,062	0,021	0	0,009	-0,007	-0,087	0,082	-0,083	0,043	0,118	0,007
G2	0,006	-0,795	0,027	-0,002	0	-0,036	-0,107	0,108	0,151	-0,148	0,207	0,027
G3	0,001	0,065	0,024	0,003	0,007	0,005	-0,166	0,224	-0,138	0,125	0,475	0,009
G4	0,018	-0,246	0,013	-0,002	0,004	-0,02	-0,036	0,007	0,059	-0,062	-0,164	0,008
G5	0,002	-0,055	0,039	0,001	0,01	-0,003	-0,133	0,196	-0,089	0,061	0,453	0,017

Valores em negrito representam significância ao nível de 5% ($p < 0,05$)

Embora tendências significativas por microrregiões tenham sido verificadas para maior quantidade de índices como também para as microrregiões que compõem outros grupos, os resultados por regiões homogêneas corroboram relativamente com os por microrregiões. Destacando que para os resultados obtidos por grupos, as séries temporais por regiões homogêneas foram obtidas a partir das séries dos

pontos de grade inseridos nas microrregiões que as compõem.

Conclusões

A partir dos resultados obtidos da análise das tendências dos índices de extremos climáticos das microrregiões da região MOTUPIBA conclui-se que: dos índices extremos de precipitação pluvial apenas os índices Rx5day, CDD e CWD

obtiveram tendências estatisticamente significantes, sendo estas observadas para uma quantidade de microrregiões que não representa porcentagem de área relativamente significativa em termos da área total da região do MATOPIBA. A maioria dos índices de precipitação demonstra a redução das incidências extremas, exceto para a precipitação total - PRCPTOT e a variabilidade em dias muito úmidos - R95p;

Com relação aos índices extremos analisados de temperatura do ar, os resultados indicaram evidências de aumento nos valores mensais máximo - TXx dos índices diários de temperatura máxima, dos valores extremos das temperaturas mínimas diárias, como máxima mensal - TNx e do índice Faixa de temperatura diária - DTR, principalmente nas microrregiões inseridas nos estados do Tocantins e Maranhão. Evidências de redução foram verificadas nos valores mínimos mensais de temperatura mínima diária - TNn, nas porcentagens de dias frios TX10p e de noites quentes TN90.

Os resultados para o índice de noites quentes - TR sugerem que existe uma tendência de redução da temperatura do ar noturna principalmente para as microrregiões do MATOPIBA inseridas na região da Amazônia Oriental e mesorregiões Ocidental e Oriental do Tocantins.

Pode-se constatar que os resultados dos índices por regiões homogêneas, provenientes da análise de agrupamento hierárquico de Ward, se mostraram representativos em relação aos valores obtidos por microrregiões.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão de bolsa de doutoramento da primeira autora bem como o apoio financeiro sob termo (1177/2022). E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da Bolsa de Produtividade em Pesquisa (307608/2022-0) ao segundo autor.

Referências

Abbasnia, M., Toros, H., 2018. Analysis of long-term changes in extreme climatic indices: a case study of the Mediterranean climate, Marmara Region, Turkey. *Pure and Applied Geophysics* 175, 3861-3873.

Alexander, L.V., Arblaster, J. M., 2017. Historical and projected trends in temperature and

precipitation extremes in Australia in observations and CMIP5. *Weather and Climate Extremes* 15, 34-56.

Andrade, R.G., Bolfe, E.L., Victória, D.D., Nogueira, S.F., 2016. Geotecnologia: recuperação de pastagens no cerrado. *Agroanalysis* 10, 30-33.

Assis, J.M.O., Caldas, H.F.M., Sobral, M.C.M., Souza, W.M., Melo, M.G.S., 2022. Analysis of climate indices and impacts on the rainfall regime in the Sub-medium stretch of the São Francisco River Basin, Brazil. *Revista Principia* 59, 4, 1224-1235.

Bolfe, E.L., Victória, D.C., Contini, E., Bayma-Silva, G., Spinelli-Araujo, L., Gomes, D., 2016. Matopiba em crescimento agrícola Aspectos territoriais e Socioeconômicos. *Revista Política Agrícola* 25, 4. Disponível: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/1202/1025>. Acesso: 18 jun. 2021.

Ashraf Vaghefi, S., Abbaspour, N., Kamali, B., Abbaspour, K.C., 2017. A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions - Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling & Software* 96, 181-198.

Avila-diaz, A., Abrahão, G., Justino, F., Torres, R., Wilson, A., 2020. Extreme climate indices in Brazil: evaluation of downscaled earth system models at high horizontal resolution. *Climate Dynamics*.

Bezerra, B.G., Silva, L.L., Santos e Silva; C.M., Carvalho, G.G., 2018. Changes of precipitation extremes indices in São Francisco River Basin, Brazil from 1947 to 2012. *Theoretical and Applied Climatology*.

Brito, A.L., Veiga, J.A.P., Correia, F.W., Capistrano, V.B., 2019. Avaliação do Desempenho dos Modelos HadGEM2-ES e Eta a partir de Indicadores de Extremos Climáticos de Precipitação para a Bacia Amazônica. *Revista Brasileira de Meteorologia* 34, 2, 165-177.

Chang, M., Liu, B., Wang, B., Martinez-Villalobos, C., Ren, G., Zhouf., T., 2017. Understanding Future Increases in Precipitation Extremes in Global Land Monsoon Regions. *Journal of Climate* 35, 1839-1851.

Coelho, F.J.S., Pereira, M.A, Davis Jr., C.A., Silva, N.G., Silva, T.T., 2023. Seasonal Study on Changing Trends in Climatic Extremes Indicators in the Brazilian Territory, *Revista Brasileira de Cartografia* 75.

- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Halloran, P., Hinton, T., Hughes, J., Jones, C.D., Joshi, M., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., Senior, C., Sitch, S., Totterdell, I., Wiltshire, A., Woodward, S., 2011. Desenvolvimento e avaliação de um Earth- Modelo do sistema - HadGEM2, Geoscientific Model Development 4, 1051-1075.
- Costa, R.L., Baptista, G.M.M., Gomes, H.B., Silva, F.D.S., Rocha Júnior, R.L., Salvador, M.A., Herdies, D.L., 2020. Analysis of climate extremes indices over northeast Brazil from 1961 to 2014. Weather and Climate Extremes 28, 100254, 21.
- Donat, M.G., Alexander, L.V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Caesar, J., 2013. Global Land-Based Datasets for Monitoring Climatic Extremes. Bulletin of the American Meteorological Society 94, 7, 997-1006.
- Dunn, R.J.H., Alexander, L.V., Donat, M.G., Zhang, X., Bador, M., Bin Hj Yussof, M. N.A., et al., 2020. Development of an Updated Global Land In Situ-Based Data Set of Temperature and Precipitation Extremes: HadEX3. Journal of Geophysical Research: Atmospheres 125, 16, 1-28.
- Everitt, B.S., Landau, S., Leese, M., Stahl, D., 2011. Cluster Analysis. King's College London, UK, 5th Edition, Wiley series in probability and statistics, 848p.
- Ferreira, B.C.C., Valverde, M.C., 2022. Análise dos Índices de Extremos de Precipitação em Cenários Futuros na Bacia do Rio Ribeira de Iguape - São Paulo. Revista Brasileira de Meteorologia.
- Garcia, J.R., Vieira Filho, J.E.R., 2018. O papel da dimensão ambiental na ocupação do MATOPIBA, Confins [online] 35. Disponível: <http://journals.openedition.org/confins/13045>. Acesso: 25 ago. 2021.
- Hair Jr., J.F., Anderson, R.E., Tatham, R.L., Black, W.C., 2005. Análise multivariada de dados. Tradução Adonai Schup Sant'Anna e Anselmo Chaves Neto. 5 ed. Bookman, Porto Alegre.
- Haylock, M.R., Peterson, T.C., Alves, L.M., Ambrizzi, T., Anunciação, Y.M.T., Baez, J., Barros, V.R., Berlato, M.A., Bidegain, M., Coronel, G., Corradi, V., Garcia, V.J. Grimm, A.M., Karoly, D., Marengo, J.A., Marino, M.B., Moncunill, D.F., Nechet, D., Quintana, J., Rebello, E., Rusticucci, M., Santos, J.L., Trebejo, I., Vincent, L.A., 2006. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960-2000 and Links with Sea Surface Temperature. Journal of Climate 19, 8, 1490-1512.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J., Lister, D.H., 2013. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. International Journal of Climatology 34, 3, 623-642.
- Harris, I.; Osborn, T.J.; Jones, P.; Lister, D., 2020. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. Scientific Data 7, 109.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. Geneva, Switzerland, p. 151.
- IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- Joseph, W., Souza, A.P., Sabino, M., 2021. Índices de extremos de temperatura do ar na Amazônia brasileira, Confins [online] 52. Disponível: <http://journals.openedition.org/confins/41520>. Acesso: 08 jan. 2024.
- Lahsen, M., Bustamante, M.M.C., Dalla-Nora, E.L., 2016. Undervaluing and Overexploiting the Brazilian Cerrado at Our Peril. Environment: Science and Policy for Sustainable Development 58, 6, 4-15.

- Linden, R., 2009. Técnicas de Agrupamento. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA* 4, 18-36.
- Lopes, A.S., Guilherme, L.R.G., 2016. A career perspective on soil management in the Cerrado Region of Brazil. *Advances in Agronomy* 137, 1-72.
- Lucas, E.W.M., Sousa, F.A.S., Silva, F.D.S., Rocha Júnior, R.L., Pinto, D.D.C., Silva, V.P.R., 2021. Trends in climate extreme indices assessed in the Xingu river basin - Brazilian Amazon. *Weather and Climate Extremes* 31, 100306.
- Marrafon, V.H., Reboita, M.S., 2020. Características da precipitação na América do Sul reveladas através de índices climáticos. *Revista Brasileira de Climatologia* 16, 26, 663-676.
- Magalhães, L.A., Miranda, E.E., 2014. MATOPIBA: Quadro Natural. Nota técnica 5. EMBRAPA. Available at: Grupo de Inteligência Territorial Estratégica (GITE). Disponível:https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/gite/publicacoes/NT5_Matopiba_Quadro_Natural.pdf. Acesso: 20 jun. 2021.
- Martin, G.M., Bellouin, N., Collins, W.J., Culverwel, I.D., Halloran, P.R., Hardiman, S.C., Hinton1, T.J., Jones, C.D., Mcdonald, R.E., McLaren, A.J., O'Connor, F.M., Roberts, M.J., Rodriguez, J.M., Woodward, S., Best, M.J., Brooks, M.E., Brown, A.R., Butchart, N., Dearden, C., Derbyshire, S.H., Dharssi, I., Doutriaux-Boucher, M., Edwards, J.M., Falloon, P.D., Gedney, N., Gray, L.J., Hewitt, H.T., Hobson, M., Huddleston, M.R., Hughes, J., Ineson, S., Ingram, W.J., James, P.M., Johns, T.C., Johnson, C.E., Jones, A., Jones, C.P., Joshi, M.M., Keen, A.B., Liddicoat, S., Lock, A. P., Maidens, A.V., Manners, J.C., Milton, S.F., Rae, J.G.L., Ridley, J.K., Sellar, A., Senior, C.A., Totterdell, I.J., Verhoef, A., Vidale, P.L., Wiltshire, A., 2011. The HadGEM2 Family of Met Office Unified Model Climate Configurations. *Geoscientific Model Development* 4, 723-757.
- Miranda, E.E., Magalhães, L.A., CARVALHO, C.A., 2014. Proposta de Delimitação Territorial do MATOPIBA. Disponível: https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/gite/publicacoes/NT1_DelimitacaoMatopiba.pdf. Acesso: 15 set. 2021.
- Oliveira Aparecido, L.E., Dutra, A.F., Lorençone, P.A., Alcântara Neto, F., Lorençon, J.A., Leite, M.R.L., 2021. Climate change in MATOPIBA region of Brazil using Thornthwaite (1948) classification. *Research Square*. Disponível: <https://www.researchsquare.com/article/rs-428799/v1>. Acesso: 22 set. 2021.
- Rana, A., Moradkhani, H., Qin, Y., 2016. Understanding the joint behavior of temperature and precipitation for climate change impact studies. *Theoretical and Applied Climatology* 129, 1-2, 321-339.
- Reis, L.C., 2020. Produtividade da soja sob diferentes cenários de variabilidade climática na região do MATOPIBA. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Reis, L.C., Santos e Silva, C.M., Bezerra, B.G., Spyrides, M.H. C., 2020. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. *Revista Brasileira de Geografia Física* 13, 04, 1425-1441. Disponível:<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/243655/36003>. Acesso: 22 jun. 2021.
- Richman, M.B., Adrianto, I., 2010. Classification and regionalization through kernel principal component analysis. *Physics and Chemistry of the Earth* 35, 316-328.
- Saddique, N., Khaliq, A., Bernhofer, C., 2020. Trends in temperature and precipitation extremes in historical (1961–1990) and projected (2061–2090) periods in a data scarce mountain basin, northern Pakistan. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 34, 10, 1441–1455.
- Salvador, M.A., 2014. Análise da variabilidade climática na nova fronteira agrícola do Brasil: região do Matopiba Tese (Doutorado). Universidade Federal de Campina Grande.
- Salvador, M.A., Brito, J.I.B., 2017. Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *Theor. Appl. Climatol.* 133, 253-261.
- Santos, J.R.N., Araújo, M.L.S., Silva Junior, C.H.L., Santos, J.S., Almeida, J.L., Lima, T.V., Sousa, L.V.P., Aguiar, P.H.M., Silva, F.B., 2020. Tendências de extremos climáticos na região de transição Amazônia-Cerrado no estado do Maranhão. *Revista Brasileira de Climatologia* 16, 26, 130-154.
- Seidel, E.J., Moreira Jr., F.J. Ansuj, A.P. Noal, M.R.C., 2008. Comparação entre o método Ward e o método K-médias no agrupamento de produtores de leite. *Ciência e Natura, UFSM* 30, 1, p. 7- 15.

- Silva, G.B; Souza, W.M; Azevedo, P.V., 2012. Cenários de mudanças climáticas no estado da Bahia através de estudos numéricos e estatísticos. *Revista Brasileira de Geografia Física* 5, 5, 1019-1034.
- Santos, L.O.F., Machado, N.G., Biudes, M.S., Geli, H.M.E., Querino, C.A.S., Ruhoff, A.L., Ivo, I.O., Lotufo Neto, N., 2023. Trends in Precipitation and Air Temperature Extremes and Their Relationship with Sea Surface Temperature in the Brazilian Midwest. *Atmosphere* 14, 426.
- Silva, R.O.B., Montenegro, S.M.G.L., Souza, W.M., 2017. Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 22, 3, 579-589. Disponível: <https://www.scielo.br/j/esa/a/m3J5NGQFR74y6ZgFtbZ8rF/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 23 set. 2021.
- Skansi, M.M., Brunet, M., Sigró, J., Aguilar, E., Groening, J.A.A., Bentancur, O.J., Geier, Y.R.C.; Amaya, R. L. C., Jácome, H.; Ramos, A.M., Rojas, C.O., Pasten, A.M., Mitro, S.S., Jiménez, C.V., Martínez, R., Alexander, L.V., Jones, P.D., 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100, 295-307.
- Souza, P.H., Sanches, R.G., Santos, B.C., 2018. Índices climáticos e chuvas intensas no município de Alfenas/MG no período de 1984-2016. *Revista Brasileira de Climatologia* 14, Edição Especial Dossiê Climatologia de Minas Gerais. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v1i0.59775>. Acesso: 22 jun. 2021.
- Souza, G.V.A, Pereira, M.F.V., 2019. MATOPIBA: a Inteligência Territorial Estratégica (ITE) e a regionalização como ferramenta. *Rev. NERA* 22, 47, 22-45. Disponível: <https://doi.org/10.47946/rnera.v0i47.6264>. Acesso: 18 jun. 2021.
- Strauss, T., Von Maltitz, M.J., 2017. Generalising Ward's Method for Use with Manhattan Distances. *PLOS ONE* 12, 1.
- Vicini, L., 2005. Análise multivariada da teoria à prática. Universidade Federal de Santa Maria-UFSM, Santa Maria.
- Ward Jr., J.H., 1963 Hierarchical Grouping to Optimize na Objective Function Research Branch, Environment Canada. *Journal of the American Statistical Association* 58, 301, 236-244.
- Wilks, D.S., 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, 2 ed. Academic Press, London.
- Zhang, X., Yang, F., 2004. *RClimDex (1.0) UserManual*. Ontario:Climate Research Branch, Environment Canada.
- Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G.C., Jones, P., Tank, A.K., Peterson, T.C., Trewin, B., Zwiers, F.W., 2011. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change* 2, 6, 851-870.
- Zhu, X., Troy, T.J., 2018. Agriculturally relevant climate extremes and their trends in the world's major growing regions. *Earth's Future* 6, 656-672.