



UNIVERSIDADE FEDERAL DE
CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
CAMPUS POMBAL

Joadir Damasceno Junior

**TENDÊNCIA DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS PARA O ESTADO DA
PARAÍBA, BRASIL**

Pombal - PB

2019

Joadir Damasceno Junior

**TENDÊNCIA DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS PARA O ESTADO DA
PARAÍBA, BRASIL**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título Bacharel em Engenharia Ambiental.

Pombal - PB

2019

D155t Damasceno Junior, Joadir.
Tendência de índices de extremos climáticos para o Estado da Paraíba
/ Joadir Damasceno Junior. – Pombal, 2019.
56 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2019.

"Orientação: Profa. Dra. Virgínia de Fátima Bezerra Nogueira".
Referências.

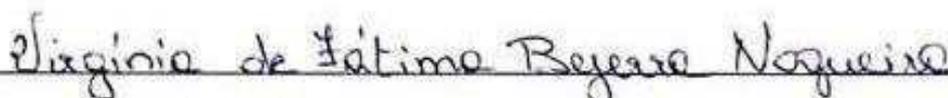
1. Mudanças climáticas. 2. RCLimDex. 3. Mann-Kendall. I. Nogueira,
Virgínia de Fátima bezerra. II. Título.

CDU 551.583(043)

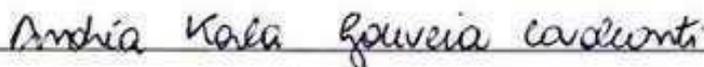
**TENDÊNCIA DE ÍNDICES DE EXTREMOS CLIMÁTICOS PARA O ESTADO DA
PARAÍBA, BRASIL**

Aprovado em 27/11/2019

BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Virgínia de Fatima Bezerra Nogueira
Orientadora – UFCG/*Campus* de Pombal -



Msc. Andrea Karla Gouveia Cavalcanti
Examinadora Interna – UFCG/*Campus* de Pombal - PB



Dr. Valner da Silva Nogueira
Examinador Externo – Mais Verde Corporação, CNPJ: 32591011/0001-80

Pombal - PB

2019

A minha mãe, Joana D'arc Moreira, por não medir esforços para com minha educação e formação e pelo exemplo de amor e honestidade.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, Joana D'arc Moreira, por pegar no meu pé para que eu entrasse em uma graduação e por não medir esforços para com minha educação e formação. E principalmente, pelo exemplo de amor e honestidade.

A minha irmã feia, Emanuela Moreira Bueno Martins, por todo o apoio durante a minha formação humana e acadêmica. A Diego Emanuel, meu primo, por todo apoio prestado quando vim ingressar nessa universidade. Agradeço a todos os familiares que fizeram, de alguma forma, parte da realização desse sonho.

A minha orientadora Virgínia de Fátima Bezerra, minha mãe de graduação, por todo o conhecimento compartilhado, apoio e confiança depositados em mim, fundamentais nesta reta final, muito obrigado por tudo.

À banca de avaliação, composta pela Msc. Andrea Karla Gouveia Cavalcanti e ao Dr. Valner da Silva Nogueira que contribuíram de maneira excepcional ao trabalho.

Ao Laboratório de Geoprocessamento, da Universidade Federal de Campina Grande, e a Andréa Karla Gouveia Cavalcanti, pela excepcional contribuição por meio do fornecimento do espaço e conhecimento para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos melhores desamigos quem alguém poderia ter na vida, William e Yuri.

A todos os meus colegas de convívio durante essa caminhada, em especial a Barbara Marinho, Fabiana Thais, meu Gustavo, Hevila Silva e Wesley "Safadão" Maycon, agradeço as experiências vivenciadas, todo o apoio que mutuamente confiamos uns aos outros, todas as preocupações e principalmente a toda a Paciência que vocês tiveram comigo, muito obrigado!

As valiosas amizades que tive o prazer de construir, Alexandre, Ary, Bianca, Bren Carla, Bruno Bandeira, Cecília, Dackson, David "Garfield", Ellen, Henrique, Jesus, Igor Bruno, Irlan, Jalles, Klinsman, Leonard, Lohana, Luiz Freire, Matheus Amorim, Mirna, Nararaly, Otanaildo, Pedro, Rogério, Ronierio, Savio, Ulisses, Vinicius Amorim, Vinicius Araujo, Wesley Lins, Yannesson, Yara, Yaroslavia, Zé Vitor, e a muitos outros, muito obrigado!

A melhor turma de amigos que eu poderia ter, Gustavo Estaca, Icaro Binho, Katiussia, Leonardo Costa, Leonardo Prado, Paulo Emanuel, Raiana, Rosy, Segundo Araujo, Vinicius, e Wellington.

A Elicarla, Illana, Iuri “Moitxa”, Jair, Manu, Eduarda, por todo o carinho, preocupação, apoio, conselhos e por se manterem presentes na minha vida, vocês contribuíram significativamente para minha formação acadêmica e foram fundamentais para a realização desse sonho.

A Luci, por todo o apoio prestado e momentos compartilhados.

Por fim, agradeço a Karisnely e Anna da UACTA, ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar e a Universidade Federal de Campina Grande pela experiência como um todo.

Enfim, a todos aqueles que participaram de forma direta ou indireta da elaboração deste trabalho, muito obrigado!!!

“Eu vou em busca de um grande talvez.”

(François Rabelais)

RESUMO

O objetivo central desse estudo é o cálculo de índices de extremos climáticos, dependentes das temperaturas máxima e mínimas e precipitações pluviiais diárias, para o Estado da Paraíba, comparando-se graficamente os resultados obtidos através das áreas de correlação das variáveis climáticas estudadas. Foram utilizados dados diários de 6 estações climatológicas para cálculo dos índices climáticos de temperatura e dados de 1 estação climatológica para o cálculo dos índices climáticos pluviométricos, todas mantidas pelo INMET, devido a confiabilidade dos dados. Os calculos dos índices de extremos climáticos foram feitos através do software RClimDex, desenvolvido para calcular os 27 índices propostos pelo CCI/CLIVAR, e a análise estatística dos resultados foi realizada através do teste de Mann-Kendall, com significância de 5%, indicando os índices de extremos climáticos que possuem tendência significativa, corroborando, assim, mudança em determinado aspecto do clima local. Os resultados indicaram mudanças climáticas significativas em determinados índices de 3 das 6 localidades estudadas, apontando aumento nos índices de temperatura máxima em todas as 3 localidades, porém variação entre aumento e diminuição das temperaturas mínimas e da amplitude térmica ao longo do período estudado, já a análise de tendências pluviométricas indicou aumento significativo na quantidade de dias extremamente úmidos. Conclui-se que, onde constatou-se mudanças no clima local, pode-se observar aumento geral nas temperaturas máximas, mas variação nos outros índices, esse comportamento é, provavelmente, proveniente das implicações regionais sobre os microclimas de cada localidade. Já o comparativo gráfico apresentou relação satisfatória em dois pares de variáveis inversamente proporcionais, mas o mesmo não se pode dizer do restante.

Palavras-chave: RClimDex, Mann-Kendall, Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

The main objective of this study is to calculate the extreme climbing indices, dependent on the maximum and minimum temperatures and the daily rainfall, for the State of Paraíba, by graphically comparing the results obtained through the correlation areas of the studied variables. Daily data from 6 climatic stations were used to calculate the climate temperature indices and daily data from 1 climatic station to calculate the rainfall indices, all maintained by INMET, this choice was made due to the reliability of the data. The computations of weather extremes indices were made by RClimdex software developed to compute the 27 indexes proposed by CCI / CLIVAR, and statistical analysis of results was performed using the Mann-Kendall test with a significance level of 5%, indicating the extreme weather indices have significant trend, thus confirming climate change. The results indicated significant climatic changes in certain indices of 3 of the 6 localities studied, indicating an increase in the maximum temperature indices in all 3 localities, but variation between increase and decrease of minimum temperatures and thermal amplitude over the studied period. Rainfall trends indicated a significant increase in the number of extremely wet days. In conclusion, where climate change was observed, a general increase in maximum temperatures can be observed, but variation in other indices is probably due to the regional implications for the microclimates of each locality. The comparative graph presented a satisfactory relationship in two pairs of inversely proportional variables, but the same cannot be said of the rest.

Keywords: RClimDex, Mann-Kendall, Climate Changes.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização	29
Figura 2: Comportamento temporal dos índices Tmax Média (a), TNN (b), Tr (c) e DTR (d)	38
Figura 3: Comportamento temporal dos índices Tmax Média (a) e TXX (b)	40
Figura 4: Comportamento temporal dos índices DTR (a), Tmax Média (b), TXX (c) e TNX (d)	42
Figura 5: Comportamento temporal do índice R99p.....	45
Figura 6: Mapas de Correlação de Dados: DTR (a), SU (b), TmaxMed (c), TminMed (d), TNN (e), TNX (f), TR (g), TXN (h) e TXX (i)	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índices climáticos básicos da ETCCDMI	24
Tabela 2: Qualidade das séries históricas	37
Tabela 3: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Areia	38
Tabela 4: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Campina Grande	39
Tabela 5: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para João Pessoa	40
Tabela 6: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Monteiro.....	41
Tabela 7: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Patos	41
Tabela 8: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para São Gonçalo	43
Tabela 9: Comportamento temporal dos índices CSDI (a) e WSDI (b).....	44
Tabela 10: Tendências dos índices climáticos derivados das precipitações para João Pessoa	45

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SIMBOLOS

ABREVIATURAS

hab -	Habitantes.
HN -	Hemisfério Norte.
HS -	Hemisfério Sul.
PRCP -	Precipitação
TMAX -	Temperatura Máxima.
TMIN -	Temperatura Mínima.

SIGLAS

BDMEP -	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa.
CCI -	<i>Climate Change Initiative</i> (Iniciativa de Mudança Climática).
CDD -	<i>Consecutive dry days</i> (Dias consecutivos secos).
CLIVAR -	<i>International Research on Climate Variability and Predictability</i> (Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática).
CSDI -	<i>Cold spell duration indicator</i> (Indicador de duração de período frio).
CWD -	<i>Consecutive wet days</i> (Dias consecutivos úmidos).
DTR -	<i>Diurnal temperature range</i> (Faixa de temperatura diurna).
ETCCDMI -	<i>Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices</i> (Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas).
FD0	<i>Frost days</i> (Dias de geada).
GEE -	Gases do Efeito Estufa.
GNU -	<i>General Public License</i> (Licença Publica Geral)
GSL -	<i>Growing season Length</i> (Tamanho do crescimento da estação).
ID0 -	<i>Ice days</i> (Dias gelados).
INMET-	Instituto Nacional de Meteorologia.
IPCC -	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> (Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas).
MCGA -	Modelos de Circulação Geral da Atmosfera.
NCDC -	<i>National Climate Data Center</i> (Centro Nacional de Dados Climáticos).
NEB -	Nordeste Brasileiro.
NOAA -	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i> (Agência Nacional Oceânica e Atmosférica).
ONU -	Organização das Nações Unidas.

PNUMA -	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente.
PRCPTOT -	<i>Annual total wet-day precipitation</i> (Precipitação anual total em dias úmidos).
R10 -	<i>Number of heavy precipitation days</i> (Número de dias de precipitação intensa).
R20 -	<i>Number of very heavy precipitation days</i> (Número de dias de precipitação muito intensa).
R95p -	<i>Very wet days</i> (Dias muito úmidos).
R99p -	<i>Extremely wet days</i> (Dias extremamente úmidos).
Rnn -	<i>Number of days above nn mm</i> (Número de dias acima de nn mm).
RX1dia -	<i>Max 1-day precipitation amount</i> (Quantidade máxima de precipitação em 1 dia).
Rx5dia -	<i>Max 5-day precipitation amount</i> (Quantidade máxima de precipitação em 5 dias).
SDII -	<i>Simple daily intensity index</i> (Índice de intensidade diária simples).
SIG -	Sistema de Informações Geográficas.
SU -	<i>Summer days</i> (Dias de verão).
TN10p -	<i>Cool nights</i> (Noites frias).
TN90p -	<i>Warm nights</i> (Noites quentes).
TNn -	Min Tmin.
TNx -	Max Tmin.
TR -	<i>Tropical nights</i> (Noites tropicais).
TX10p -	<i>Cool days</i> (Dias frios).
TX90p -	<i>Warm days</i> (Dias quentes).
TXn -	Min Tmax.
TXx -	Max Tmax.
VBA -	<i>Visual Basic for Applications</i> (Visual Básico Para Aplicações).
VCAN -	Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis.
WMO -	<i>World Meteorological Organization</i> (Organização Meteorológica Mundial).
WSDI -	<i>Warm spell duration indicator</i> (Indicador de duração de período quente).
ZCIT -	Zona de Convergência Intertropical.

SIMBOLOS

CH ₄ -	Metano.
CO ₂ -	Dióxido de Carbono.
H ₂ O -	Água.
Km ² -	Quilômetro quadrado.
mm -	Milímetros.
N ₂ -	Nitrogênio.
N ₂ O -	Oxido Nitroso.
O ₂ -	Oxigênio.
SF ₆ -	Hexafluoretos De Enxofre.
°C -	Grau Celsius.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
2.1. Objetivo Geral	19
2.2. Objetivos Específicos.....	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1. Variabilidade e Mudanças Climáticas	20
3.2. Índices de Detecção de Mudanças Climáticas	21
3.3. Teste de Mann-Kendall	22
3.4. R e RClmDex	23
3.5. Geoprocessamento e QGis	25
4. METODOLOGIA	28
4.1. Área De Estudo	28
4.2. Procedimento Metodológico.....	29
4.2.1. Coleta de Dados.....	29
4.2.2. RClmDex.....	30
4.2.3. Índices Climáticos Básicos Utilizados.....	31
4.2.3.1. SU	31
4.2.3.2. TR.....	31
4.2.3.3. TXX	32
4.2.3.4. TNX	32
4.2.3.5. TXN	32
4.2.3.6. TNN.....	32
4.2.3.7. WSDI	32
4.2.3.8. CSDI.....	32
4.2.3.9. DTR.....	33
4.2.3.10. RX1dia	33
4.2.3.11. RX5dia	33
4.2.3.12. SDII	33

4.2.3.13. R10.....	33
4.2.3.14. R20.....	33
4.2.3.15. CDD.....	34
4.2.3.16. CWD.....	34
4.2.3.17. R95p.....	34
4.2.3.18. R99p.....	34
4.2.3.19. PRCPTOT	35
424. Teste de Mann-Kendall.....	35
4.3. Análise de Correlação dos Dados	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1. Qualidade das Séries Históricas	37
5.2. Índices Climáticos de Temperatura.....	37
521. Areia.....	37
522. Campina Grande	39
523. João Pessoa.....	40
524. Monteiro.....	41
525. Patos.....	41
526. São Gonçalo.....	43
527. CSDI e WSDI.....	43
5.3. Índices Climáticos de Precipitação	44
5.4. Mapas de Correlações dos Dados.....	46
6. CONCLUSÃO	51
7. REFERENCIAL BIBLIOGRAFICO	53

1. INTRODUÇÃO

A atmosfera pode ser definida como a camada que envolve a crosta terrestre do planeta, sendo a mesma constituída por uma porção diferentes de gases. O nitrogênio (N₂) e o oxigênio (O₂) compoem, juntos, 99% do volume atmosférico. Existem muitos outros gases, em volumes variáveis, entre estes, podemos destacar os Gases do Efeito Estufa (GEE), como o dióxido de carbono (CO₂), os halocarbonetos (perfluorcarbonetos, hidrofluorcarbonetos e clorofluorcarbonetos), o metano (CH₄), hexafluoretos de enxofre (SF₆), o oxido nitroso (N₂O) e o vapor d'água (H₂O). Esses gases recebem essa denominação pois possuem a característica de absorver uma porção da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre, o que dificulta sua passagem de volta para o espaço, impedindo que o planeta sofra uma perda significativa de calor para o espaço, principalmente à noite, mantendo a terra aquecida, fenômeno esse, denominado efeito estufa (DOS SANTOS, 2006 - adaptado).

Esse efeito é fundamental para a manutenção da vida e dos ecossistemas da Terra. No último século, os níveis de GEE vem se acumulando progressivamente, aumentando sua concentração a níveis acima do necessário para a manutenção do efeito estufa, o que se dá, principalmente pelas atividades antrópicas (MOREIRA, 2003). O aumento displicente na concentração de GEE poderá causar sérios problemas para a vida na terra, já que toda a forma de vida complexa não suporta temperaturas muito acima dos 40 °C. Devemos, ainda, levar em consideração que as mudanças climáticas envolvem um mecanismo muito mais complexo que apenas a temperatura, pois o clima não apenas a define, como também define os regimes hídricos em diferentes escalas, impactando diretamente a saúde humana, a agroeconomia, as funções e composições ecossistêmicas (SANTOS, 2010).

Entre os GEE que tem sua concentração aumentada, o CO₂ é o mais concentrado, representando 55% das emissões mundiais de GEE. Seu tempo mínimo de permanência na atmosfera é de, ao menos, 100 anos, portanto, fundamental, entendermos que as ações de hoje promoverão consequências a longo prazo para a humanidade. A quantidade de metano emitido é muito menor, comparado a de CO₂, porem seu potencial aquecedor é vinte vezes mais potente que o do CO₂ (MOREIRA, 2003).

Conforme aponta o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2001), Painel mantido pela Organização das Nações Unidas (ONU), a temperatura

média global deverá aumentar, com base em 1990, algo entre 1,4 a 5,8 °C, até 2100, o que extrapola os primeiros modelos sintéticos que esperavam máximo de 3,5 °C no aumento da temperatura em decorrência da concentração de GEE.

Como supra citado, essa mudança antrópica na variabilidade climática, afetará diferentes regiões do globo, assim como, na agroeconomia, nas florestas, na disponibilidade e disposição de recursos hídricos, nas áreas costeiras, impactos na fauna, evidenciando grande vulnerabilidade dos sistemas naturais e essas mudanças (IPCC, 2002). Porém o oposto pode ser constatado, fatores referentes aos recursos naturais podem afetar o micro clima de uma região, como o desflorestamento e queimadas de ecossistemas, gerando um efeito dominó negativo no clima local, que estende-se a alteração no clima global. Ressaltando-se que, localmente, esses fatores são mais relevantes do que os GEE.

Dos Santos (2006) afirma que em áreas de ecossistemas frágeis e vulneráveis, como o semiárido paraibano, as mudanças climáticas extremas são mais facilmente influenciadas pela soma das ações antrópicas locais com os efeitos dos GEE. Comumente, as mudanças climáticas locais são tendenciadas através da análise de séries históricas meteorológicas, como precipitação pluvial e temperaturas do ar atmosférico. Onde, de acordo com as tendências dessas variáveis pode-se observar se ocorreram, ou não, mudanças climáticas nessa região.

Porém, como forma de padronizar esses cálculos, a *World Meteorological Organization*-Organização Meteorológica Mundial (WMO) criou a *Expert Team on Climate Change Detection Monitoring and Indices*- Equipe de Especialistas em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (ETCCDMI), através do *International Research on Climate Variability and Predictability*- Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática (CLIVAR) da *Climate Change Initiative*- Iniciativa de Mudança Climática (CCI), 27 índices que podem indicar mudanças climáticas. Isto é realizado através de dados de séries históricas, sendo 11 índices pluviométricos e 16 itens voltados a temperatura. Alguns desses 27 índices são aplicados para latitudes médias, outros para trópicos e alguns podem ser aplicados a qualquer região.

Na maior parte do Nordeste do Brasil (NEB), em destaque o semiárido, a precipitação pluviométrica é a variável mais importante na definição do clima local, bem como na sua mudança e variabilidade. Neste contexto, este trabalho tem por

objetivo verificar possíveis tendências que apontem às mudanças climáticas e comparar os resultados obtidos entre cada local de estudo.

2. OBJETIVOS

21. Objetivo Geral

Realizar o cálculo das tendências de índices de extremos climáticos para o Estado da Paraíba através do software RClimDex e análise estatística através do teste de Mann-Kendall para determinar quais áreas apresentaram mudanças climáticas significativas e quais foram essas mudanças.

22. Objetivos Específicos

- Investigar no período de 1993 a 2016, os máximos e mínimos de temperatura diária e precipitações;
- Realizar a estatística da série de Temperatura, analisando o comportamento e sua variação;
- Realizar a estatística da série de Precipitação, analisando o comportamento e sua variação;
- Realizar a espacialização dos resultados das estatísticas;
- Análise dos dados de correlação obtidos entre as localidades analisadas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Variabilidade e Mudanças Climáticas

De acordo com Tucci (2002), os conceitos literários sobre alterações climáticas se distinguem de acordo com a inserção dos efeitos antrópicos na identificação da variabilidade. O IPCC (2001) define mudança climática como mudanças temporais do clima devido à variabilidade natural e/ou atividades antrópicas, já outros autores elaboram que a variabilidade natural já ocorre e que as mudanças nessa variabilidade climática por intervenção direta ou indireta de atividades humanas, em determinado período, é o que deve ser definido como mudança climática (STEINKE, 2004).

Sem pormenorizar, “variabilidade climática” é empregado para variações de clima relativas as condições naturais do planeta e suas interações, portanto “variabilidade natural do clima”. Já “mudanças climáticas” seriam as alterações na variabilidade natural do clima decorrente de atividades antrópicas. Isto posto, faz-se necessário identificar a ocorrência dessas alterações para poder asseverar se há mudanças climáticas.

De acordo com Conti (2000), a Organização Meteorológica Mundial (OMM) descreve que o desenvolvimento do clima, tendo em vista a infinidade de fatores correlacionados, jamais será igual de um intervalo de tempo para o outro, verificando-se flutuações a curto, médio e longo prazo.

Existem séries de variáveis que dificultam a análise climática, pois é quase impossível, atualmente, separar os efeitos das atividades antrópicas sobre o clima da sua variabilidade natural. Isso se dá também, e sobre tudo, porque o sistema climático é extremamente complexo e sua dinâmica ainda não é completamente compreendida, pelos cientistas que estudam essa dinâmica terra-atmosfera.

O desmatamento florestal e as queimadas, bem como a redução da camada de ozônio e o agravamento do efeito estufa atizam o questionamento e a preocupação com o comportamento climático global. Tucci (2002) crê que o acidente nuclear de Chernobyl, que ocorreu em 1986, na cidade de Pripjat, atual território da Ucrânia, foi um marco deste processo, pois foi quando observou-se com a devida importância e “medo” que ações causadas em uma parte do globo podem afetar a população e o ambiente de outras regiões com milhares de quilômetros de distância. Partindo da prerrogativa do aumento na concentração de CO₂, que gera aumento da temperatura na baixa atmosfera, vários eventos foram organizados em

torno do globo com a intenção de discutir a problemática das mudanças climáticas, então em 1988, a WMO e o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criaram o IPCC com os objetivos de (1) avaliar as informações científicas existentes sobre mudança climática; (2) avaliar os impactos ambientais causadas pelas mudanças climáticas; e (3) formular estratégias de resposta a esses impactos. (SANTOS, 2006).

Em 2001, após 13 anos de pesquisas, o IPCC concluiu que o aquecimento global observado nos últimos 50 anos é proveniente da ação antrópica (IPCC, 2001). E o cenário para 2100 é o aumento da temperatura média global entre 1,4 a 5,8 °C e aumento do nível oceânico entre 0,09 e 0,88 metros, devido ao derretimento das calotas polares. Se isso acontecer, acredita-se no aumento na incidência de ondas de calor, inundações e secas. Portanto, o IPCC visa estabelecer normas internacionais para o controle de GEE, como o protocolo de Kyoto, por exemplo.

Para a investigação dessas mudanças supracitadas, Abreu (2000) explana que os métodos utilizados são chamados Modelos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA). Estes servem para descrever a atmosfera globalmente, utilizando equações matemáticas que levam em consideração as leis da física que regem o sistema atmosférico. Esses modelos são importantes pois permitem avaliar a implicação de mudanças na composição química da atmosfera. Porém são considerados limitados tendo em vista que dependem do conhecimento científico sobre a dinâmica atmosférica e do poder computacionais dos computadores utilizados.

32 Índices de Detecção de Mudanças Climáticas

Ultimamente, a variabilidade e mudança climática tem sido cada vez mais pautada entre a rede de interesses dos cientistas, isso porque as atividades antrópicas, progressivamente, vêm sendo acusada como causadoras dessas mudanças (DOS SANTOS, 2006).

A maioria dos estudos nessa área utilizam dados de precipitações pluviiais como índice de detecção de mudanças climáticas, tendo em vista seu vasto registro histórico. Múltiplos outros estudos abordaram a temperatura média, global ou localizada, da superfície para constituir o grau e o significado das mudanças climáticas durante o século passado. Principalmente porque espera-se que as temperaturas médias globais respondam diretamente a crescente radiativa

associada com concentrações crescentes de GEE, sendo esse método o mais simples e responsivo da variabilidade e mudança climática global (BRAGANZA et al., 2003).

Exemplos básicos são o contraste entre a temperatura do oceano e a da superfície terrestre, o gradiente térmico meridional, o contraste inter-hemisférico e a magnitude do ciclo anual. Sendo estes índices associados com fatores dinâmicos que determinam aspectos da ampla circulação atmosférica. Ao se analisar interações regionais do clima, deve-se expender que esses índices apresentem informações independentes da temperatura média global. Estes índices devem, também, conceber as características principais da modelagem da temperatura superficial e dos GEE crescentes na atmosfera, devendo apresentar uma resposta coerente do efeito estufa com as mudanças climáticas (BRAGANZA et al., 2003).

Essas análises devem ser precisas, tendo em vista sua enorme importância, já que impacta diretamente a relação homem-meio ambiente, sendo o clima o fator determinante no desenvolvimento das sociedades, desde os primórdios da humanidade, e dita como o homem se relacionou com o meio ambiente.

Santos e Brito (2007) analisaram dados de precipitação pluviométrica de 1935 a 2000, totalizando 65 anos, e identificaram aumento no número de dias chuvosos, na precipitação total anual, no número de dias extremamente úmidos e na ocorrência de chuvas superiores a 50 mm/dia nos Estados da Paraíba e do Rio Grande do Norte, mostrando correlações entre as tendências dos índices com as anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) dos oceanos Atlântico e Pacífico influenciando os níveis de precipitação pluvial na região do estudo.

3.3. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL 1975) é um método robusto, amplamente usado como teste não-paramétrico para detecção de tendências em séries temporais climatológicas e hidrológicas (YENIGÜN ET AL., 2008). Sendo vastamente usado e sugerido pela WMO para avaliar tendências climáticas em séries temporais.

Por ser um método estatístico não-paramétrico, não necessita de distribuição normal dos dados, sendo pouco influenciados por *outliers* ou séries não-homogêneas, mas este método requer que os dados sejam independentes e aleatórios (YUE ET AL., 2002; ZHANG ET AL., 2009; NEETI & EASTMAN, 2011).

Silva (2004) cita que o teste de Mann-Kendall consiste na comparação de cada valor da série temporal com os valores subsequentes, contando-se o número de vezes em que os termos restantes são maiores que o valor analisado.

34. R e RClimDex

O ClimDex foi inicialmente um programa baseado na linguagem *Visual Basic for Applications* (VBA) da Microsoft, feito sobre a aplicação Excel 97, disponibilizando pacote computacional para cálculo de índices climáticos utilizados na detecção de mudanças climáticas. Criado por Byron Gleason do *National Climate Data Center* (NCDC) da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), sendo utilizado em oficinas da *International Research on Climate Variability and Predictability* (CCI/CLIVAR) sobre índices climáticos desde 2001. (DOS SANTOS, 2006).

Como o Microsoft Excel é uma aplicação proprietária, objetivou-se, também, colocar o ClimDex em uma aplicação independente, e para atender essa necessidade, optou-se pelo R, sendo um ambiente computacional em software livre, licenciado pela *General Public License* (GNU), e de código aberto criado por Ross Ihaka e Robert Gentleman no departamento de Estatística da Universidade de Auckland, Nova Zelândia e atualmente desenvolvido em colaboração por membros ao redor o mundo através da iniciativa R Project. (DOS SANTOS, 2006. Adaptado).

R é uma linguagem e ambiente estatístico computacional e gráfico para ambiente Unix, Windows e Mac. Ele fornece uma enorme variedade de técnicas estatísticas, de modelos lineares e não-lineares, testes estatísticos padrão, classificação, agrupamento, análises de séries históricas, entre outros, além de técnicas gráficas, sendo altamente abrangente (R CORE TEAM, 2019).

Zhang et al. (2005) descobriu em 2003 que o método utilizado pelo ClimDex para calcular os índices climáticos de temperatura estava resultando em uma não-homogeneidade das séries de índices. Sugerindo, portanto um procedimento estatístico denominado *bootstrap*, que, segundo Efron e Tibishirani (1993), baseia-se na obtenção de um “novo” conjunto de dados, por reamostragem do conjunto de dados original. Como esse procedimento não pode ser implementado no Excel, fez-se necessário a migração completa para o R. Surgindo, assim o RClimDex.

O RClimDex foi desenvolvido para ter um visual simples e intuitivo para o cálculo dos índices de extremos climáticos. Calculando todos os 27 índices

propostos pelo peritos do CCI/CLIVAR para ETCCDMI, sendo 11 índices relativos a precipitação e 16 relativos a temperatura do ar, todos estão detalhados na tabela a baixo:

Tabela 1: Índices climáticos básicos da ETCCDMI.

SIGLA	SIGNIFICADO	DEFINIÇÃO	UNIDADE
FD0	<i>Frost days</i> (Dias de geada)	Contagem anual quando $\square\square$ (mínimo diário) $< 0\text{ }^\circ\text{C}$	dia
SU26,1	<i>Summer days</i> (Dias de verão)	Contagem anual quando $\square\square$ (máximo diário) $> 26,1\text{ }^\circ\text{C}$	dia
ID0	<i>Ice days</i> (Dias gelados)	Contagem anual quando $\square\square$ (máximo diário) $< 0\text{ }^\circ\text{C}$	dia
TR21,7	<i>Tropical nights</i> (Noites tropicais)	Contagem anual quando $\square\square$ (mínimo diário) $> 20\text{ }^\circ\text{C}$	dia
GSL	<i>Growing season Length</i> (Tamanho do crescimento da estação)	A contagem anual (01/01 a 31/12 no HN, 01/07 a 30/06 em HS) entre o primeiro período de pelo menos 6 dias com $\square\square > 5\text{ }^\circ\text{C}$ e o primeiro período após 1 de julho (1 de janeiro no HS) de 6 dias com $\square\square < 5\text{ }^\circ\text{C}$	dia
TXx	Maxi Tmax	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	$^\circ\text{C}$
TNx	Max Tmin	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	$^\circ\text{C}$
TXn	Min Tmax	Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária	$^\circ\text{C}$
TNn	Min Tmin	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	$^\circ\text{C}$
TN10p	<i>Cool nights</i> (Noites frias)	Porcentagem de dias onde $\square\square < 10^{\text{th}}$ percentil	dia
TX10p	<i>Cool days</i> (Dias frios)	Porcentagem de dias onde $\square\square < 10^{\text{th}}$ percentil	dia
TN90p	<i>Warm nights</i> (Noites quentes)	Porcentagem de dias onde $\square\square > 90^{\text{th}}$ percentil	dia
TX90p	<i>Warm days</i> (Dias quentes)	Porcentagem de dias onde $\square\square > 90^{\text{th}}$ percentil	dia
WSDI	<i>Warm spell duration indicator</i> (Indicador de duração de período quente)	Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos quando $\square\square > 90^{\text{th}}$ percentil	dia
CSDI	<i>Cold spell duration indicator</i> (Indicador de duração de período frio)	Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos quando $\square\square < 10^{\text{th}}$ percentil	dia
DTR	<i>Diurnal temperature range</i> (Faixa de temperatura diurna)	Diferença média mensal entre $\square\square$ e $\square\square$	$^\circ\text{C}$
RX1dia	<i>Max 1-day precipitation amount</i> (Quantidade máxima de precipitação em 1 dia)	Precipitação mensal máxima de 1 dia	Mm
Rx5dia	<i>Max 5-day precipitation amount</i> (Quantidade máxima de precipitação em 5 dias)	Precipitação mensal consecutiva máxima de 5 dias	mm
SDII	<i>Simple daily intensity index</i> (Índice de intensidade diária simples)	Precipitação total anual dividida pelo número de dias úmidos (definido como $\square\square\square\square \geq 1\text{ }^\circ\text{C}$) no ano	mm/dia

SIGLA	SIGNIFICADO	DEFINIÇÃO	UNIDADE
R10	<i>Number of heavy precipitation days</i> (Número de dias de precipitação intensa)	Contagem anual de dias em que $\square\square\square\square \geq 10 \square\square$	dia
R20	<i>Number of very heavy precipitation days</i> (Número de dias de precipitação muito intensa)	Contagem anual de dias em que $\square\square\square\square \geq 20 \square\square$	dia
Rnn	<i>Number of days above nn mm</i> (Número de dias acima de nn mm)	Contagem anual de dias em que $\square\square\square\square \geq \text{"}\square\square\text{"}$ $\square\square$, "□□" é um limite definido pelo usuário	dia
CDD	<i>Consecutive dry days</i> (Dias consecutivos secos)	Número máximo de dias consecutivos com $\square\square < 1 \square\square$	dia
CWD	<i>Consecutive wet days</i> (Dias consecutivos úmidos)	Número máximo de dias consecutivos com $\square\square \geq 1\square\square$	dia
R95p	<i>Very wet days</i> (Dias muito úmidos)	Total Anual de precipitação quando $\square\square > 95^{\text{th}}$ percentil	mm
R99p	<i>Extremely wet days</i> (Dias extremamente úmidos)	Total Anual de precipitação quando $\square\square > 99^{\text{th}}$ percentil	mm
PRCPTOT	<i>Annual total wet-day precipitation</i> (Precipitação anual total em dias úmidos)	Total Anual de precipitação em dias úmidos ($\square\square \geq 1 \square\square$)	mm

Fonte: Zhang et al (2018), tradução nossa.

3.5. Geoprocessamento e QGis

Segundo Pereira et al. (2014) a história ambiental é um campo relativamente novo, e que esse campo historiográfico tem seu desenvolvimento baseado na utilização de ferramentas e metodologias não tradicionais ao campo em questão, como por exemplo, o geoprocessamento, que serve de auxílio a quantificação de mudanças ocorridas no meio ambiente, que se refletem no saber ambiental e nas séries temporais.

Turner (2003) explica que dados de sensores remotos são aqueles obtidos pela coleta de dados de refletância das ondas eletromagnéticas por um sensor, de forma passiva ou ativa. Esses sensores, que passaram a ser lançados em satélites a partir da década de 1970 (SAUSEN, 2012), fornecem imagens digitais da superfície terrestre. Gonzales e Woods (2010) caracterizam imagem digital como uma matriz cujos índices das linhas e das colunas identificam um ponto na imagem com seu valor de elemento identificado pelo nível de cinza naquele ponto. Sendo aplicados ao proposto caso para melhorar as informações visuais para a interpretação humana.

Gonzales e Woods (2010) dividiram o processamento dessas imagens em três etapas, pré-processamento, processamento e pós-processamento, também

denominadas de processamento de nível baixo, médio e alto, respectivamente. A primeira etapa consiste em melhorar a imagem para adequá-la ao processamento que se pretende obter; a segunda etapa consiste em segmentar essa imagens em objetos menores que passam a representar subáreas segmentadas pelo contornos desses objetos; e por fim, na terceira etapa, descreve-se os dados representados em cada objeto criado na segunda etapa, quantificando as informações básicas e as classes dos objetos em questão. Formando, assim, um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

A realização de um SIG na computação é diretamente afetada pela qualidade em transpor formas e objetos do mundo real e suas correlações. E essa qualidade se dá através do geoprocessamento, onde essa relação entre o real e a abstração de dados é representada em escalas, formas, cores e localização. (TORCHETTO ET AL. 2014).

Miranda (2010) cita que o modelo de dados mais utilizado em SIG's para a representação de áreas é o conjunto localização geográfica e atributo, o primeiro é autoexplicativo, já o segundo trata-se das características desse local, como, por exemplo, qualitativo e/ou quantitativo, escala nominal, ordinal, intervalar ou racionalizada. Os fenômenos espaciais, segundo, ainda, Miranda (2010), são divididos em três classes, ponto, linha e polígonos (áreas), e o que difere um do outro é sua dimensionalidade, onde o primeiro é adimensional, o segundo é unidimensional e o terceiro é bidimensional. Já a superfície terrestre é tridimensional.

Tendo vista ao exposto, as geotecnologias são grande aliadas aos estudos ambientais por oferecer mecanismos que contribuem para o planejamento e gestão territorial (MORAES, 2010).

Existem diversos softwares para manipulação de dados espaciais no mercado, uma delas é Quantum Gis, popularmente conhecido por sua sigla (QGIS).

Sendo este, um software livre, licenciado pela GNU, e de código aberto, baseado em SIG. Com interface simples e fácil, oferecendo várias ferramentas que possibilitam gerenciar, visualizar, editar, analisar dados e compor mapas para impressão com enorme liberdade. Por se tratar de um software com código aberto, existem várias soluções *pluggins* para a mesma tarefa, e por se tratar de um software gratuito, é considerado o programa geotecnológicos com a maior

quantidade de material produzido em vários meios, o que facilita sua utilização e seu aprendizado, disponíveis para Windows, Mac, Linux e até para android.

4. METODOLOGIA

4.1. Área De Estudo

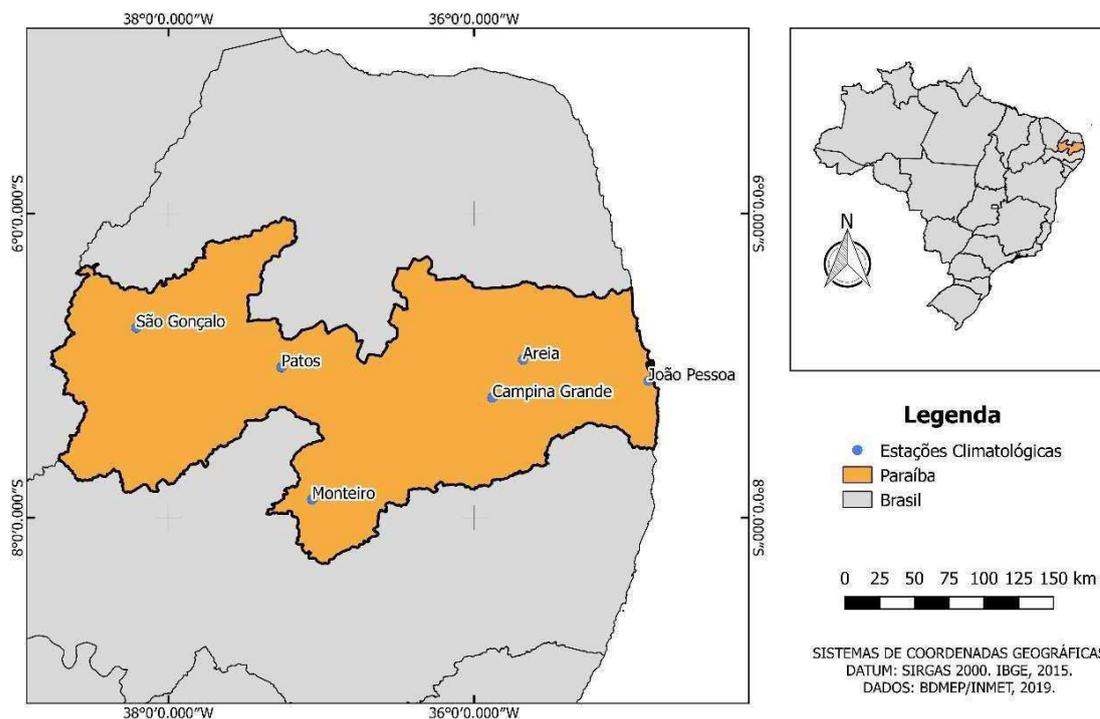
A Paraíba é um dos 27 estados brasileiros, está situada na região nordeste, fazendo divisa com os estados do Ceará, Pernambuco e Rio Grande do Norte, tendo 223 municípios, divididos em 4 regiões geográficas, Campina Grande, João Pessoa, Patos e Souza-Cajazeiras (IBGE, 2017), limitado pelos paralelos 6°02'12" e 8°19'8"S e pelos meridianos 34°45'54" e 38°45'45"W (Francisco, 2010), com área de 56 469,778 km², que corresponde a 0,66% do território nacional, e uma população estimada de 4.018.127 pessoas (IBGE, 2019), o que gera uma densidade demográfica de 66,7 hab/km².

Braga e Silva (1990) determinou que o Estado da Paraíba contempla dois regimes de chuvas, um de fevereiro a maio, no sertão, e outro de abril a julho, que se distribui sobre o planalto da Borborema até o litoral.

Essas chuvas se dão, principalmente, pelos sistemas Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) (SERRA, 1941; HASTENRATH & HELLER, 1977 apud FRANCISCO & SANTOS, 2017), os Distúrbios de Leste (YAMAZAKI & RAO, 1977 apud FRANCISCO & SANTOS, 2017) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (ARAGÃO, 1975; KOUSKY & GAN, 1981). Normalmente a ZCIT é a principal fornecedora de chuvas para a parte norte do NEB.

O Estado tem temperatura média mínima anual de 21,7°C, média anual de 24,2°C e média máxima anual de 26,1°C. Precipitação mínima acima de 300 mm/ano, média próxima aos 850 mm/ano e máxima próxima a 2000 mm/ano, onde a precipitação varia entre 300 a 500 mm no Cariri/Curumataú, de 700 a 900 mm no Alto Sertão, 700 a 1200 mm na Borborema e Agreste e mais de 1200 mm no litoral, segundo Francisco e Santos (2017).

Figura 1: Mapa de Localização.



Fonte: Autoria própria, 2019.

42 Procedimento Metodológico

42.1. Coleta de Dados

A metodologia consistiu na coleta de dados meteorológicos diários referentes à altura das chuvas para a localidade de João Pessoa e a temperatura mínima e máxima de seis estações meteorológicas no Estado da Paraíba, no período de Janeiro de 1993 a Dezembro de 2016. A seleção dos anos para o estudo obedeceu ao critério de apresentar o menor número de falhas, sendo correspondente ao período de 1993 a 2016, totalizando uma série de precipitações de 24 anos. A partir daí, foi realizada uma análise de consistência dos dados da série.

Através do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP), do INMET, (acessado em junho de 2019), foram obtidos dados das seis estações meteorológicas convencionais presentes no Estado da Paraíba.

Para o cálculo dos índices climáticos de temperatura, os dados que faltaram foram substituídos pela média do valor imediatamente anterior com o imediatamente posterior e para os que não dispunham de dados imediatamente próximos, os valores foram substituídos pelo valor médio mensal de temperatura para cada região, estimados matematicamente através do software “Estima_T”, desenvolvido

por Cavalcanti et al. (2006) para estimativas de temperaturas do ar do NEB, baseando-se nas coordenadas locais (longitude, latitude e altitude) do local escolhido.

422 RClimDex

Para obtenção dos índices climáticos foi utilizado o software RClimDex versão 1.9-3. Para tal, os dados devem primeiro obedecer ao controle de qualidade do software, etapa inicial obrigatória, e para isso deve-se substituir os dados faltosos por “-99.9”, código da linguagem R para essa finalidade, o mesmo código foi substituído em temperaturas máximas diárias inferiores a mínima diária e vice-versa.

A entrada de dados no programa deve respeitar as seguintes regras:

- Arquivo .txt ou .csv;
- Os dados devem seguir a seguinte sequência: Ano, Mês, Dia, Precipitação (PRCP), Temperatura Máxima (TMAX), Temperatura Mínima (TMIN);
- A precipitação deve estar em milímetros e a temperatura em graus Celsius;
- Valores numéricos reais devem ser separados por ponto, jamais por vírgula;
- Os dados devem ser separados por espaço, em arquivos .txt, e por ponto e vírgula, em arquivos .csv;
- Os dados devem estar em ordem cronológica, não podendo faltar nenhum dia na série.

Exemplo da disposição de dados para utilização de arquivo .txt.

1993	1	1	3.7	35.7	23.2
1993	1	2	0	37.2	-99.9
1993	1	3	-99.9	29.7	20.5

Exemplo da disposição de dados para utilização de arquivo .csv.

1993;1;1;3.7;35.7;23.2

1993;1;2;0;37.2;-99.9

1993;1;3;-99.9;29.7;20.5

Portanto, dia 1 de janeiro de 1993 teve PRCP de 3,7 mm, TMAX de 35,7 °C e TMIN de 23,2 °C. No dia 2 de janeiro, a TMIN foi maior que a TMAX, por isso substituído por “-99.9” e no dia 3 de janeiro a PRCP não constava na série.

Com os dados formatados, clica-se em “*Run Quality Control*” na interface gráfica do programa, carrega-se o arquivo formatado, uma janela de configuração

aparecerá, configuram-se os parâmetros e clima-se em “*Perform Quality Control*”, o programa informará se o procedimento foi um sucesso, criando um arquivo com extensão “.indcal.csv”, ou se houve falha, neste último caso, apontando o motivo. Fechamos a janela de configuração clicando em “*Quit*”. Já nessa etapa o programa mostra em gráficos os dados faltosos e também os *outliers*, que consistem de dados que apresentam valores maiores ou menores que o intervalo médio acrescido ou decrescido de seu desvio padrão.

O próximo passo é clicar em “*Run Indices Control*”, carrega-se o arquivo gerado na etapa anterior, configuram-se os parâmetros exigidos, escolhem-se os índices que o programa deverá calcular e clica-se em “*Perform Indices Calculation*” e o programa criará uma pasta no diretório escolhido com todos os índices calculados.

Para a definição dos limites de temperaturas máxima e mínimas exigidas, foi utilizado os dados de Francisco e Santos (2017) para temperatura média mínima anual e média máxima anual.

4.23. Índices Climáticos Básicos Utilizados

Para sanear o objetivo geral, através do RClmDex, calculou-se 9 dos 16 índices climáticos sobre temperatura, e 10 dos 11 índices climáticos relacionados a precipitação, do ETCCDMI.

Sendo esses escolhidos porque são aqueles que se encaixam as condições regionais do local estudado.

Os Indicies climáticos utilizados foram:

4.2.3.1. SU

Seja \square_{ij} a temperatura máxima diária em um dia \square num período \square . Conta à quantidade de dias onde:

$$\square_{ij} > 26,1 \text{ }^\circ \square \quad (1)$$

4.2.3.2. TR

Seja \square_{ij} a temperatura mínima diária em um dia \square num período \square . Conta à quantidade de dias onde:

$$\square_{ij} > 21,7 \text{ }^\circ \square \quad (2)$$

4.2.3.3. TXX

Seja \hat{t}_{kj} a temperatura máxima em um mês j num período n . A maior temperatura máxima diária de cada mês se dá por:

$$\hat{t}_{ij} = \max(\hat{t}_{kj}) \quad (3)$$

4.2.3.4. TNX

Seja \hat{t}_{kj} a temperatura mínima em um mês j num período n . A maior temperatura mínima diária de cada mês se dá por:

$$\hat{t}_{ij} = \max(\hat{t}_{kj}) \quad (4)$$

4.2.3.5. TXN

Seja \hat{t}_{kj} a temperatura máxima em um mês j num período n . A menor temperatura máxima diária de cada mês se dá por:

$$\hat{t}_{ij} = \min(\hat{t}_{kj}) \quad (5)$$

4.2.3.6. TNN

Seja \hat{t}_{kj} a temperatura mínima em um mês j num período n . A menor temperatura mínima diária de cada mês se dá por:

$$\hat{t}_{ij} = \min(\hat{t}_{kj}) \quad (6)$$

4.2.3.7. WSDI

Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos, cujo:

$$\hat{t}_{kj} > \hat{t}_{n90} \quad (7)$$

Sendo \hat{t}_{n90} , 90th percentil da temperatura máxima diária em um intervalo centrado em 5 dias.

4.2.3.8. CSDI

Contagem anual de dias com pelo menos 6 dias consecutivos, cujo:

$$\hat{t}_{kj} < \hat{t}_{n10} \quad (8)$$

Sendo \hat{t}_{n10} , 10th percentil da temperatura mínima diária em um intervalo centrado em 5 dias.

4.2.3.9. DTR

Seja T_{ij} e T_{kj} a máxima e a mínima temperatura diária, respectivamente, em um dia i num período j . Se n representar o número de dias em j , então:

$$DTR_j = \frac{\sum_{i=1}^n (T_{ij} - T_{kj})}{n} \quad (9)$$

4.2.3.10. RX1dia

Seja P_{ij} o total diário de precipitação em um dia i num período j . Então o valor máximo de precipitação em um dia para o j é dado por:

$$RX1_{dia} = \max(P_{ij}) \quad (10)$$

4.2.3.11. RX5dia

Seja P_{ij} a quantidade de precipitação em um intervalo de cinco dias terminando em i e período j . Então, os valores máximos de cinco dias para o período j se dá por:

$$RX5_{dia} = \max(P_{kj}) \quad (11)$$

4.2.3.12. SDII

Seja P_{wj} a quantidade diária de precipitação nos dias úmidos, W ($P_{wj} \geq 1$ mm) num período j . Se W representa o número de dias úmidos em j , então:

$$SDII = \frac{\sum_{w=1}^M P_{wj}}{W} \quad (12)$$

4.2.3.13. R10

Seja P_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i num período j . Então a quantidade de dias é:

$$R10 = \sum_{i=1}^n P_{ij} \geq 10 \quad (13)$$

4.2.3.14. R20

Seja P_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i num período j . Então a quantidade de dias é:

$$R20 = \sum_{i=1}^n P_{ij} \geq 20 \quad (14)$$

4.2.3.15. CDD

Seja P_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i num período j .

Então conta-se a maior quantidade de dias consecutivos:

$$P_{ij} < 1 \quad (15)$$

4.2.3.16. CWD

Seja P_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i num período j .

Então conta-se a maior quantidade de dias consecutivos:

$$P_{ij} \geq 1 \quad (16)$$

4.2.3.17. R95p

Seja P_{wj} a quantidade diária de precipitação num dia úmido W ($P_{ij} \geq 1$) num período j e seja P_{wn95} 95th do percentil da precipitação nos dias úmidos no período de 1961-1990. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R95_j = \sum_{w=1}^M P_{wj} \quad (17)$$

Onde $P_{wj} > P_{wn95}$

4.2.3.18. R99p

Seja P_{wj} a quantidade diária de precipitação num dia úmido W ($P_{ij} \geq 1$) num período j e seja P_{wn99} 99th do percentil da precipitação nos dias úmidos no período de 1993-2016. Se W representa o número de dias úmidos no período, então:

$$R99_j = \sum_{w=1}^M P_{wj} \quad (18)$$

Onde $P_{wj} > P_{wn99}$

4.2.3.19. PRCPTOT

Seja x_{ij} a quantidade diária de precipitação em um dia i num período j . Se I representa o número de dias em j , então:

$$\sum_{i=1}^I x_{ij} \quad (19)$$

4.2.4. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL 1975) é um método robusto, amplamente usado como teste não-paramétrico para detecção de tendências em séries temporais climatológicas e hidrológicas (YENIGÜN ET AL., 2008). Sendo amplamente usado e sugerido pela WMO para avaliar tendências climáticas em séries temporais.

Lopes e Silva (2012) diz que, em geral, os estudos sobre tendências climáticas descumpram a correlação das séries temporais; correlações seriais positivas aumentam a probabilidade de rejeição da hipótese nula, enquanto sereis negativas diminuem a probabilidade de rejeição da hipótese nula (VON STORCH, 1995).

Segundo Moraes et al. (1997), o teste considera uma série temporal x_i com n termos ($1 < n < \infty$) a serem analisados. O teste consiste na soma S_n da quantidade de termos x_i da série, relativo ao valor de x_i cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores aos mesmos ($x_j < x_i$), isto dito, calcula-se por:

$$S_n = \sum_{i=1}^n x_i \quad (20)$$

Em séries com grande número de termos (n), sob a hipótese nula (H_0) de ausência de tendência, S_n apresentará distribuição normal com média e variância dada por:

$$E(S_n) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (21)$$

$$Var(S_n) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (22)$$

Testa-se a significância estatística de S_n para a hipótese nula usando um teste bilateral, esta, podendo ser rejeitada para grandes valores da estatística S_n , através da equação:

$$Z(S_n) = \frac{S_n - E(S_n)}{\sqrt{Var(S_n)}} \quad (23)$$

O valor da probabilidade é calculado pela tabela de distribuição normal padronizada, na forma:

$$\alpha_1 = P(|Z| > |Z(\alpha_u)|) \quad (24)$$

Sendo α_0 o nível de significância do teste (geralmente $\alpha_1 = 0,05$), acolhe-se a hipótese nula se $\alpha_1 > \alpha_0$. Se a hipótese nula for rejeitada, implicará na existência de tendência significativa, onde o sinal da estatística $\tau(\tau_n)$ indica se a tendência é crescente ($\tau(\tau_n) > 0$) ou decrescente ($\tau(\tau_n) < 0$).

Penereiro e Orlando (2013) aclaram que o ponto de início da mudança na série pode ser apurado aplicando-se o mesmo princípio à série inversa. Assim, calcula-se, para cada termo, a quantidade de termos τ'_i da série τ_j , de maneira tal que para $\tau_i > \tau_j$ com $\tau < \tau$, ou seja, calcula-se a equação (20) com valores partindo de $\tau = \tau$ até $\tau = 1$, gerando a estatística inversa $\tau^u(\tau_n)$, portanto:

$$\tau^u(\tau_n) = -\tau(\tau_n) \quad (25)$$

A interseção das curvas $\tau(\tau_n)$ e $\tau^u(\tau_n)$ é o ponto de mudança, desde que ocorra dentro dos valores críticos de intervalo de confiança.

Para o cálculo estatístico de Mann-Kendall, neste trabalho, foram utilizadas séries temporais de precipitação acumulada mensal e das temperaturas máximas e mínimas. Com significância de 5%. Os índices foram calculados através do programa XLSTAT 2019 versão de avaliação.

4.3. Análise de Correlação dos Dados

Para a análise dos dados, foram utilizados os dados de correlação de dados, gerados após análise estatística, Tau de Kendall. Onde os valores foram tabulados e interpolados pela função Grade (interpolação) do QGis, por seguinte, gerando mapas de correlação entre os dados de cada localidade. O intervalo foi definido com a mesma significância para todos os mapas, sendo ela de -0,54 a +0,54, onde este valor foi escolhido por ser o maior entre os valores, de Tau de Kendall, obtidos.

Desta forma, podemos comparar os mapas entre si, sem disparidade de classificação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Qualidade das Séries Históricas

Foi analisada a quantidade de dados faltosos para cada tipo de dado e a porcentagem geral de falhas na série. Esperava-se encontrar, em cada posto, no período proposto, 8766 dados para cada variável, temperatura diária máxima, temperatura diária mínima e precipitação diária. Na tabela abaixo esta a quantidade de dados encontrados para cada posto e sua porcentagem.

Tabela 2: Qualidade das séries históricas.

	Tmax diária	Tmin diária	Precipitação	Média
Esperado	8766	8766	8766	100%
Areia	7740	7798	7851	88,21%
	88,30%	88,96%	89,56%	
Campina Grande	7890	7877	7936	89,10%
	90,01%	89,86%	90,53%	
João Pessoa	8695	8539	8732	98,35%
	99,19%	97,41%	99,61%	
Monteiro	7846	8022	8036	90,51%
	89,50%	91,51%	91,67%	
Patos	7891	7778	7899	89,10%
	90,02%	88,73%	90,11%	
São Gonçalo	7081	7046	7106	80,18%
	80,78%	80,38%	81,06%	

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.2 Índices Climáticos de Temperatura

5.2.1. Areia

Na tabela 3 estão os valores de tendências temporais dos índices de extremos climáticos adquiridos pelas temperaturas máximas e mínimas na localidade de areia, graficamente representados na figura 2. Através da observação dos dados de inclinação presentes na tabela, percebe-se a tendência dos índices apresentados, os índices em negrito representam índices de tendências significativas. Portanto, dos 4 índices com tendência significativa, 3 apresentam aumento, sendo eles, temperatura máxima média, que vinha apresentando tendência negativa, porém essa tendência se inverteu nesses últimos 5 anos, como podemos ver na figura (2a); temperatura mínima mínima, que vem aumentando 0,178 °C nos últimos anos, figura (2b); e quantidade de noites tropicais que vem

aumentando significativamente ao longo dos anos como visto na figura (2c), e apenas 1 índice apresentou tendência significativa em decréscimo: faixa de temperatura diurna, em $-0,057$ °C por ano, figura (2d), sendo a variação entre a temperatura máxima e a mínima diária.

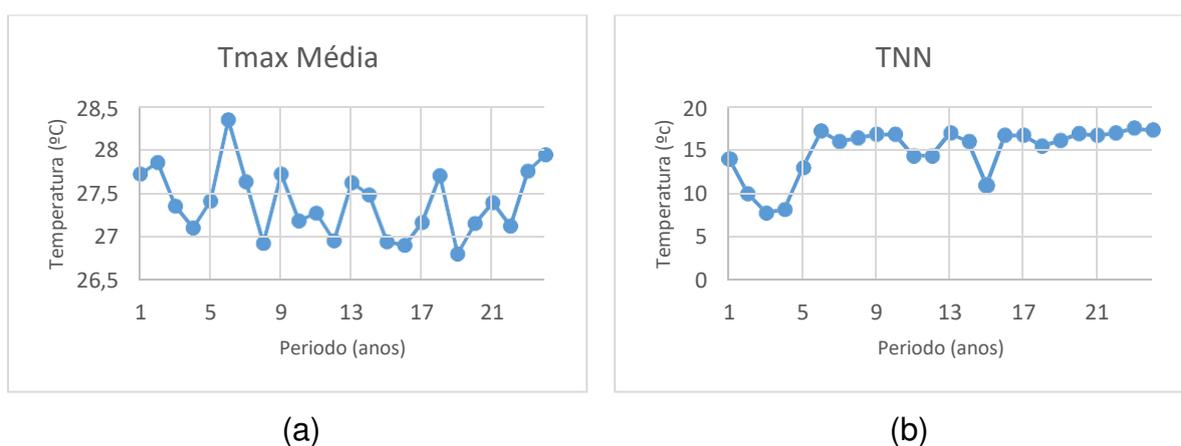
Tabela 3: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Areia.

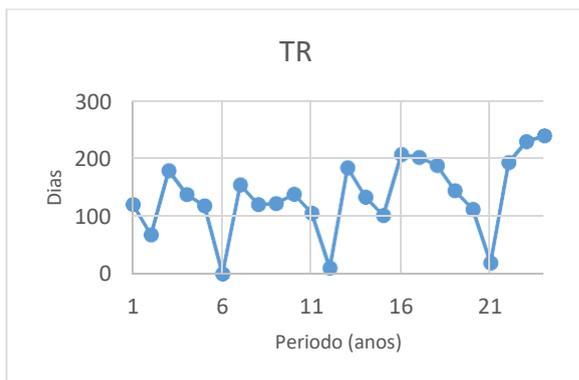
ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
DTR	-0,483	-133	1624,33	0,001	-0,057⁻
SU	-0,182	-50	1621,33	0,224	-1,375
Tmax Média	-0,127	-35	1624,33	0,399	-0,012⁺
Tmin Média	0,428	118	1625,33	0,004	0,047
TNN	0,455	125	1622,33	0,002	0,178⁺
TNX	0,134	35	1581,67	0,393	0,010
TR	0,301	83	1624,33	0,042	3,971⁺
TXN	-0,222	-58	1584,00	0,152	-0,018
TXX	0,111	29	1579,00	0,481	0,003

“+” tendência significativa de aumento; “-” tendência significativa de diminuição.

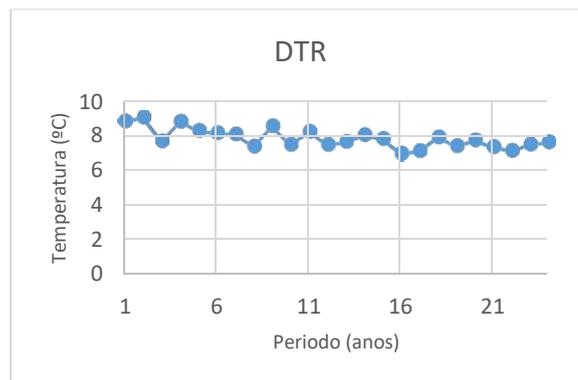
Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 2: Comportamento temporal dos índices Tmax Média (a), TNN (b), Tr (c) e DTR (d).





(c)



(d)

Fonte: Autoria própria, 2019.

522 Campina Grande

Na tabela 4 podem ser observados os valores de tendências temporais dos índices de extremos climáticos adquiridos pelas temperaturas máximas e mínimas na localidade de Campina Grande. Os dados de inclinação obtidos através das análises das tendências climáticas extremas de temperaturas para a cidade de Campina Grande mostraram pequena inclinação, salvo SU que é relativamente maior em relação aos outros, mas mesmo assim, todos os índices não apresentaram tendência significativa.

Tabela 4: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Campina Grande.

ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
DTR	-0,062	-17	1624,33	0,691	-0,006
SU	0,096	26	1616,67	0,534	0,293
Tmax Média	0,185	51	1624,33	0,215	0,012
Tmin Média	0,095	26	1620,67	0,535	0,010
TNN	-0,110	-29	1577,00	0,481	-0,003
TNX	0,171	46	1607,33	0,262	0,020
TR	0,000	0	1621,33	1,000	0,000
TXN	-0,192	-52	1614,00	0,204	-0,033
TXX	0,182	49	1610,33	0,232	0,026

Fonte: Autoria própria, 2019.

523. João Pessoa

Na tabela 5 estão os valores de tendências temporais dos índices de extremos climáticos adquiridos pelas temperaturas máximas e mínimas na localidade de João Pessoa, graficamente representados na figura 3. Os dados de inclinação obtidos através das análises de tendências para João Pessoa evidenciam aumento significativo na temperatura máxima média $0,038\text{ }^{\circ}\text{C}$ por ano (figura (3a)) e a temperatura máxima máxima em $0,054\text{ }^{\circ}\text{C}$, observado na figura (3b).

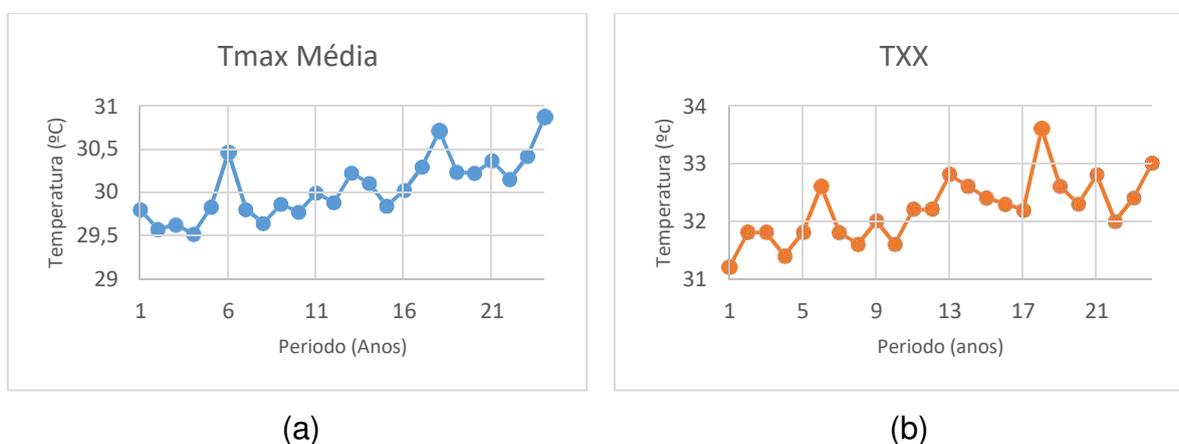
Tabela 5: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para João Pessoa.

ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
DTR	0,279	77	1624,33	0,059	0,019
SU	0,177	40	1340,67	0,287	0,000
Tmax Média	0,628	173	1624,33	<0,0001	0,038⁺
Tmin Média	0,134	37	1624,33	0,372	0,012
TNN	0,155	42	1612,67	0,307	0,022
TNX	0,114	30	1588,00	0,467	0,005
TR	0,143	38	1597,33	0,355	0,125
TXN	-0,059	-16	1614,67	0,709	-0,011
TXX	0,535	143	1604,33	0,000	0,054⁺

“+” tendência significativa de aumento; “-” tendência significativa de diminuição.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 3: Comportamento temporal dos índices Tmax Média (a) e TXX (b).



Fonte: Autoria própria, 2019.

524. Monteiro

Na tabela 6 observam-se os valores de tendências temporais dos índices de extremos climáticos adquiridos pelas temperaturas máximas e mínimas na localidade de Monteiro. Monteiro, assim como Campina Grande, não apresentou tendências evidentes, como por exemplo, TR que é muito divergente dos outros índices, mas nenhum deles apresentou tendências significativas.

Tabela 6: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Monteiro.

ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
DTR	0,182	50	1623,33	0,224	0,033
SU	0,150	39	1576,33	0,339	0,063
Tmax Média	0,149	41	1624,33	0,321	0,020
Tmin Média	-0,161	-44	1620,67	0,285	-0,013
TNN	0,156	42	1610,67	0,307	0,038
TNX	-0,252	-68	1610,00	0,095	-0,042
TR	-0,236	-65	1624,33	0,112	-2,775
TXN	-0,066	-18	1614,00	0,672	-0,014
TXX	0,097	26	1601,33	0,532	0,011

Fonte: Autoria própria, 2019.

525. Patos

Na tabela 7 estão os valores de tendências temporais dos índices de extremos climáticos adquiridos pelas temperaturas máximas e mínimas na localidade de Patos, graficamente representados na figura 4. Os dados de inclinação oriundos de Patos mostram aumento significativo de 0,055 °C na faixa de temperatura diurna, aumento de 0,05 °C na temperatura máxima média e 0,056 °C na temperatura máxima máxima. O comportamento de cada uma dessas variáveis podem ser observados nas figuras (4a), (4b) e (4c), respectivamente.

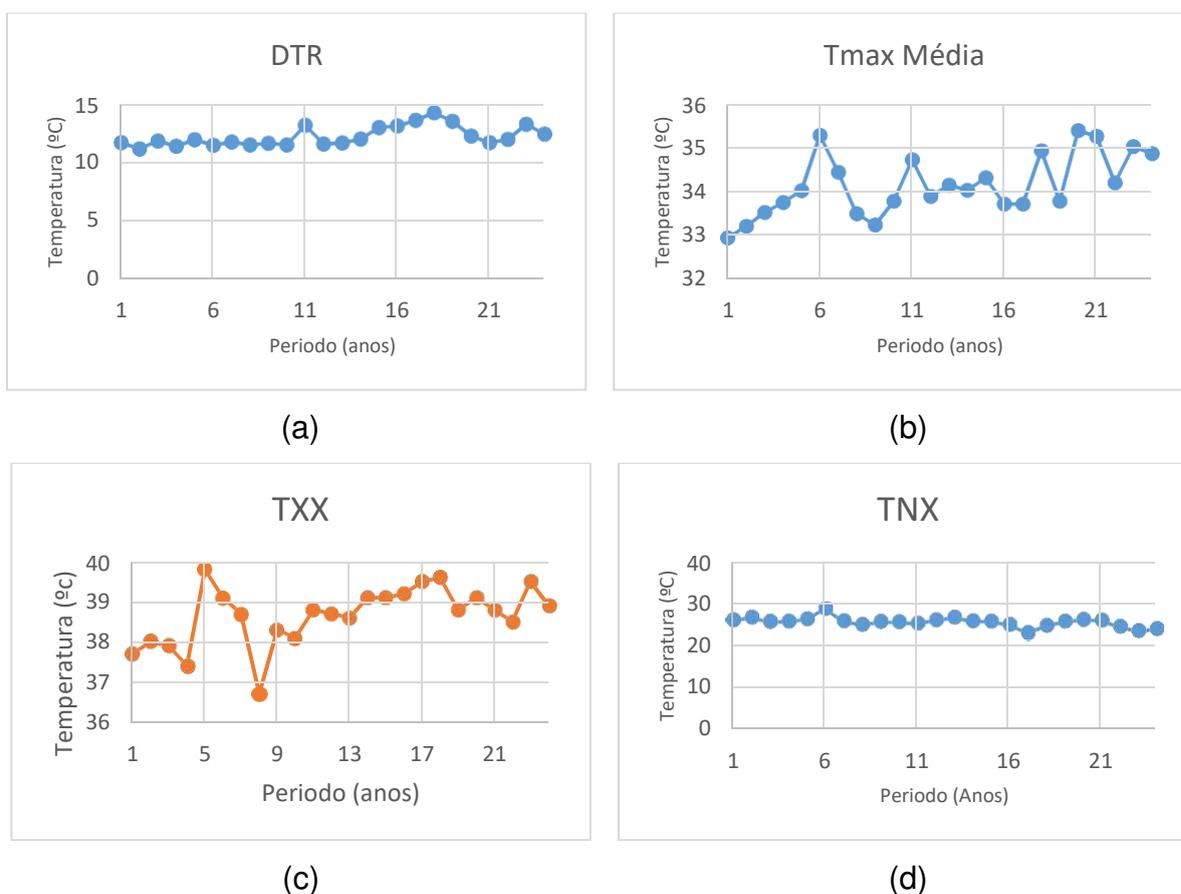
Tabela 7: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para Patos.

ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
DTR	0,468	129	1624,33	0,001	0,055⁺
SU	0,113	21	1007,667	0,529	0,000
Tmax Média	0,436	120	1623,33	0,003	0,05⁺
Tmin Média	-0,036	-10	1625,33	0,823	-0,007
TNN	0,026	7	1620,33	0,882	0,007
TNX	-0,368	-100	1616,67	0,014	-0,075⁻
TR	0,094	26	1625,33	0,535	0,583
TXN	0,033	9	1617,67	0,842	0,004
TXX	0,388	105	1611,00	0,010	0,056⁺

“+” tendência significativa de aumento; “-” tendência significativa de diminuição.

Fonte: Autoria própria, 2019.

Figura 4: Comportamento temporal dos índices DTR (a), Tmax Média (b), TXX (c) e TNX (d).



Fonte: Autoria própria, 2019.

526. São Gonçalo

Os valores de tendências temporais dos índices de extremos climáticos adquiridos pelas temperaturas máximas e mínimas na localidade de São Gonçalo podem ser observados na tabela 8. Assim como Campina Grande e Monteiro, São Gonçalo não apresentou nenhum dado de inclinação obtido através das análises das tendências climáticas extremas de temperaturas. Assim como Campina Grande e Monteiro, São Gonçalo não apresentou nenhum dado de inclinação obtido através das análises das tendências climáticas extremas de temperaturas.

Tabela 8: Tendências dos índices climáticos derivados das temperaturas máximas e mínimas para São Gonçalo.

ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
DTR	0,268	74	1625,33	0,070	0,030
SU	0,102	20	1102,67	0,567	0,000
Tmax Média	0,287	79	1624,33	0,053	0,037
Tmin Média	0,058	16	1623,33	0,710	0,015
TNN	-0,125	-34	1613,33	0,411	-0,050
TNX	0,049	13	1587,67	0,763	0,000
TR	-0,135	-37	1622,33	0,371	-1,196
TXN	-0,109	-30	1620,67	0,471	-0,041
TXX	0,090	24	1602,00	0,566	0,014

“+” tendência significativa de aumento; “-” tendência significativa de diminuição.

Fonte: Autoria própria, 2019.

527. CSDI e WSDI

Na tabela 9 estão os índices CSDI e WSDI, que foram analisados separadamente, pois a inconstância de dados anuais impede uma análise estatística precisa pelo método de Mann Kendall, mas podemos observar a diminuição dos eventos de CSDI e o aumento dos eventos de WSDI, tanto em quantidade por postos como em quantidade de postos.

Tabela 9: Comportamento temporal dos índices CSDI (a) e WSDI (b).

CSDI							WSDI						
Ano	1*	2*	3*	4*	5*	6*	Ano	1*	2*	3*	4*	5*	6*
1993	8	77		29	7		1993	7					
1994	27	47	99				1994	52					
1995							1995						
1996	117		7				1996						
1997	14						1997				13		
1998							1998	14	28	6	41	21	58
1999							1999		8				
2000		65					2000						
2001		46	14	1			2001	29			15		
2002							2002				8		
2003	28						2003	16	7				
2004	11				8		2004						
2005							2005			6			
2006	59						2006						
2007	63					6	2007					6	12
2008							2008	8					
2009			6		76		2009			7			
2010					59	1	2010	14	12	64		23	
2011					102	122	2011						
2012							2012				15	21	
2013							2013	18	6	7		16	28
2014			7	6			2014						
2015							2015	15	19				67
2016							2016	34	53	117	27		52

1* - Areia; 2* - Campina Grande; 3* - João Pessoa; 4* - Monteiro; 5* - Patos; e 6* - São Gonçalo.

Fonte: Autoria própria, 2019.

5.3. Índices Climáticos de Precipitação

Os índices extremos de precipitação são fundamentais para uma melhor análise do clima e das mudanças nele acarretadas. Infelizmente dos 6 postos encontrados no Estado da Paraíba, 5 deles continham 10% de dados faltosos, o que impossibilitou uma análise através da metodologia aplicada. Apenas para o posto de João Pessoa foi possível realizar o cálculo dos índices de análises das tendências climáticas de precipitação. Podemos analisar que os dados de inclinação obtidos através das análises de tendências da precipitação em João Pessoa, como o R99p, que são os dias extremamente úmidos, vem aumentando quase 13 dias por ano, na série analisada.

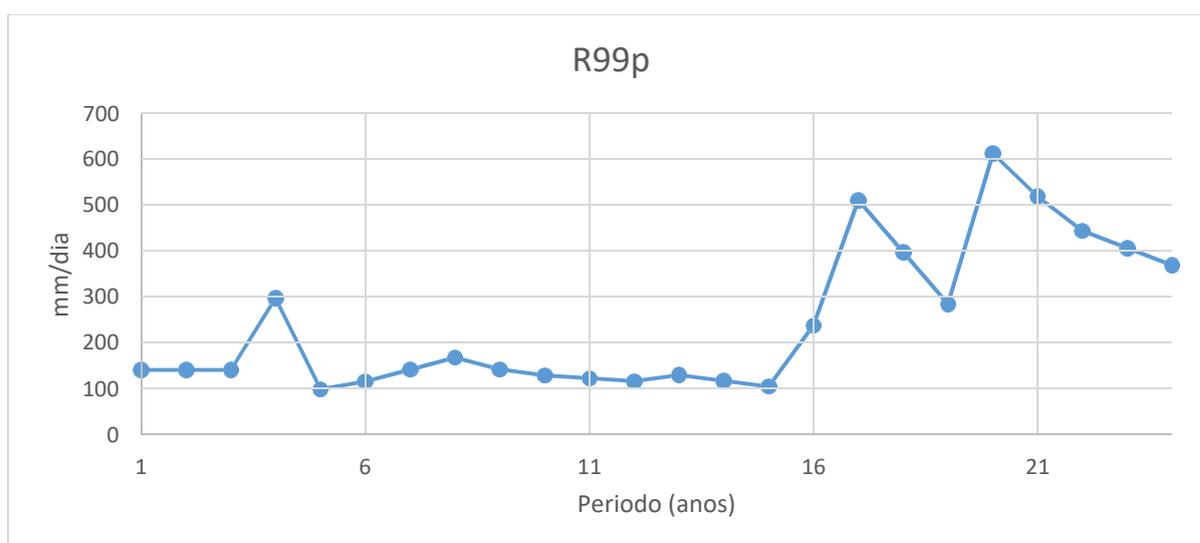
Tabela 10: Tendências dos índices climáticos derivados das precipitações para João Pessoa.

ÍNDICE	TAU DE KENDALL	S	VAR (S)	VALOR-P	INCLINAÇÃO
CDD	-0,121	-33	1620,33	0,427	-0,207
CWD	0,053	14	1596,00	0,745	0,000
PRCPTOT	0,145	40	1625,33	0,333	16,787
R10mm	0,197	54	1621,33	0,188	0,657
R20mm	-0,026	-7	1613,00	0,881	0,000
R95p	0,225	62	1625,33	0,130	20,366
R99p	0,375	103	1621,67	0,011	12,620⁺
Rx1Day	0,072	20	1625,33	0,637	0,723
Rx5Day	0,159	44	1625,33	0,286	2,139
SDII	0,196	54	1623,33	0,188	0,100

Fonte: Autoria própria, 2019.

Na figura 5 se pode ver o aumento da quantidade de precipitação por dia. O gráfico representa as complicações decorrentes desse aumento, nos dias onde a precipitação equivale a 99th do percentil, ou seja, o aumento na quantidade de dias extremamente úmidos também aumenta a precipitação nesses dias.

Figura 5: Comportamento temporal do índice R99p.



Fonte: Autoria própria, 2019.

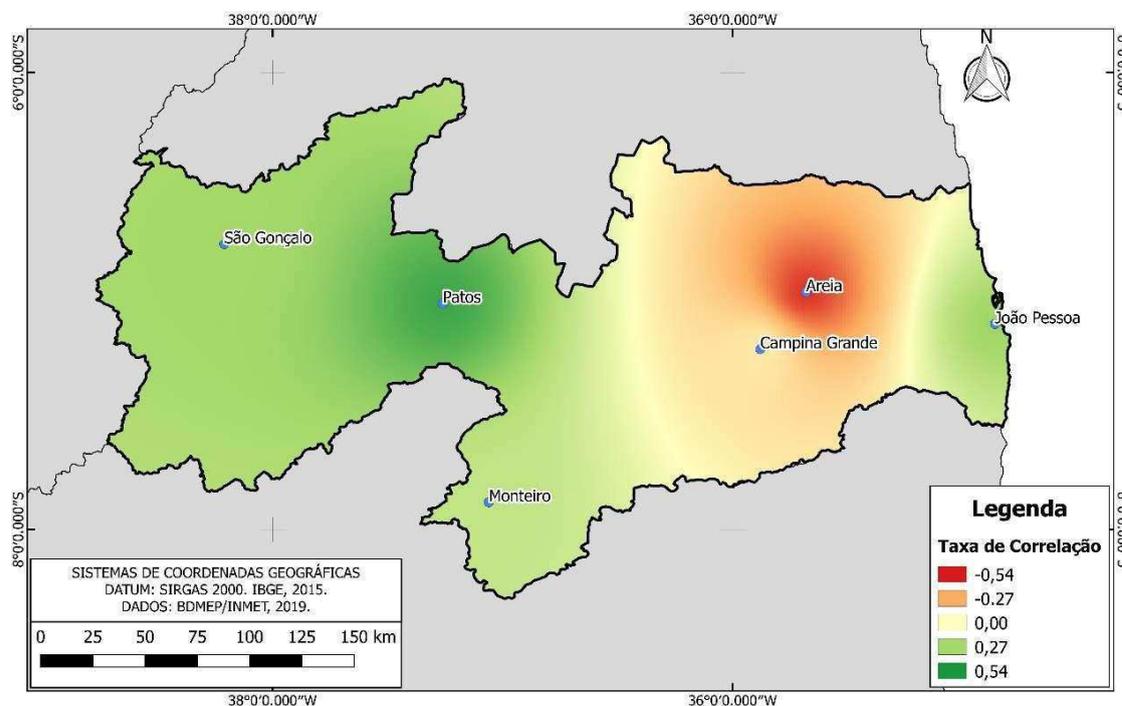
54. Mapas de Correlações dos Dados

Foram gerados mapas de correlação entre os locais de estudo para cada índice de extremos climáticos de temperatura, menos para CSDI e WSDI, pois como dito anteriormente, não apresentam disposição de dados para aplicação do teste.

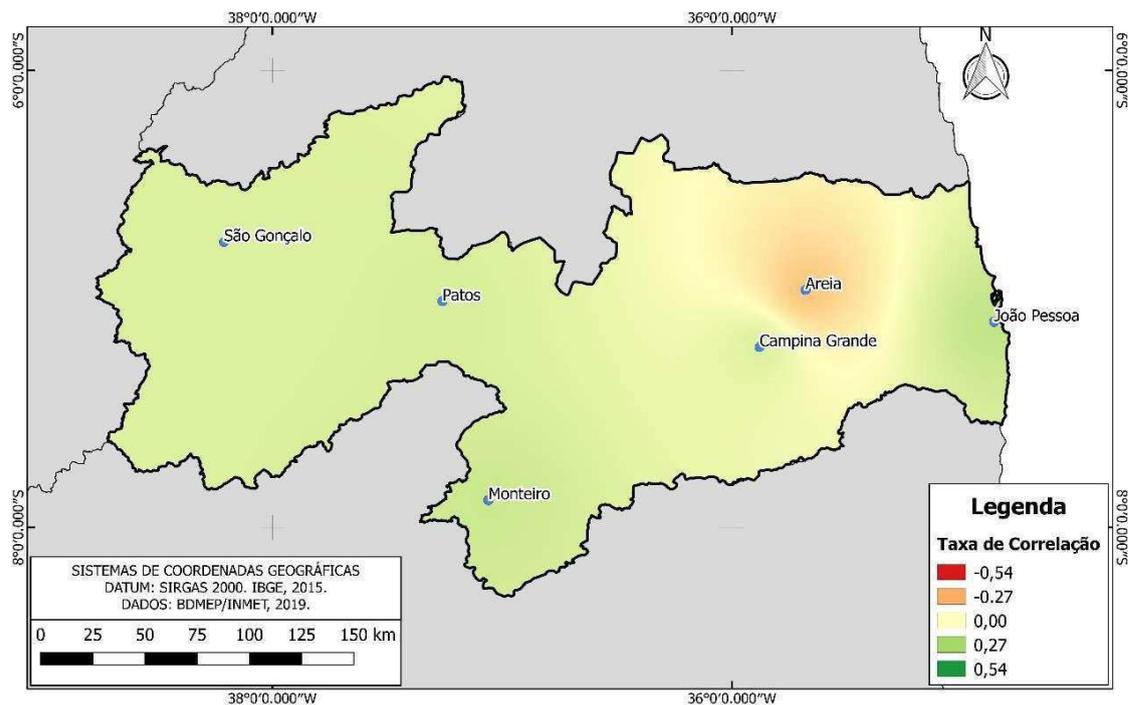
Na Figura 6 estão os mapas gerados, as nuances em verde identificam correlação entre os dados decrescendo em qualidade enquanto se encaminha para as nuances de vermelho. Ao considerarmos a figura (6b) e a figura (6g), notamos relação inversa entre a correlação dos dados ao longo do Estado, o mesmo para o par (6c) e (6d), os pares (6h) e (6i) também apresentam essa relação, porém isso não deveria ocorrer tendo em vista que medem índices semelhantes, temperatura máxima mínima e temperatura máxima máxima, respectivamente. Os outros índices não apresentam relação aparente.

Deve-se ressaltar que devido a pequenas quantidades de estações climatológicas para a realização da interpolação, que quando maior a distância entre as localidades, menor a confiabilidade na classificação resultante.

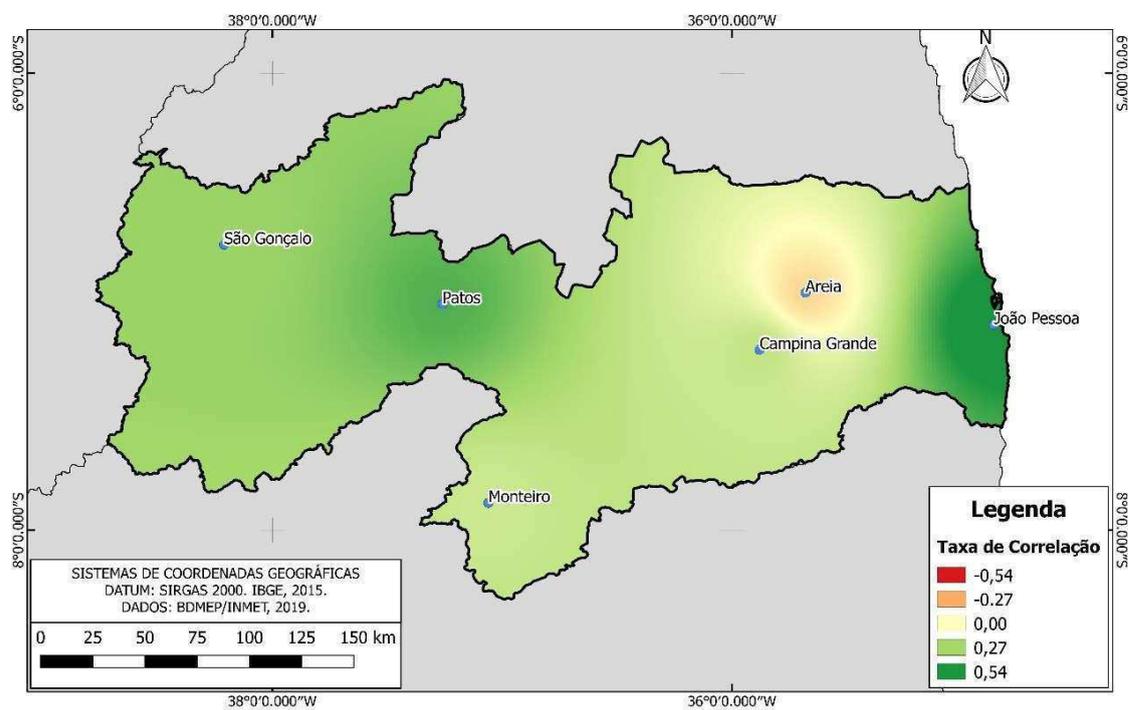
Figura 6: Mapas de Correlação de Dados: DTR (a), SU (b), TmaxMed (c), TminMed (d), TNN (e), TNX (f), TR (g), TXN (h) e TXX (i).



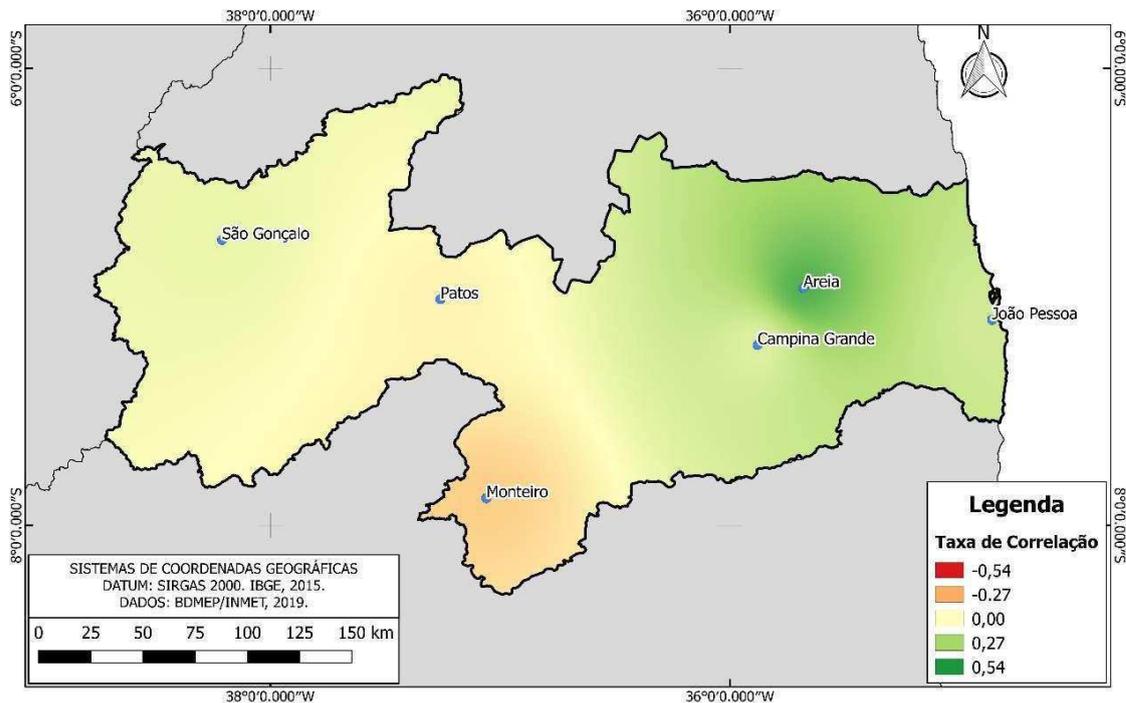
(a)



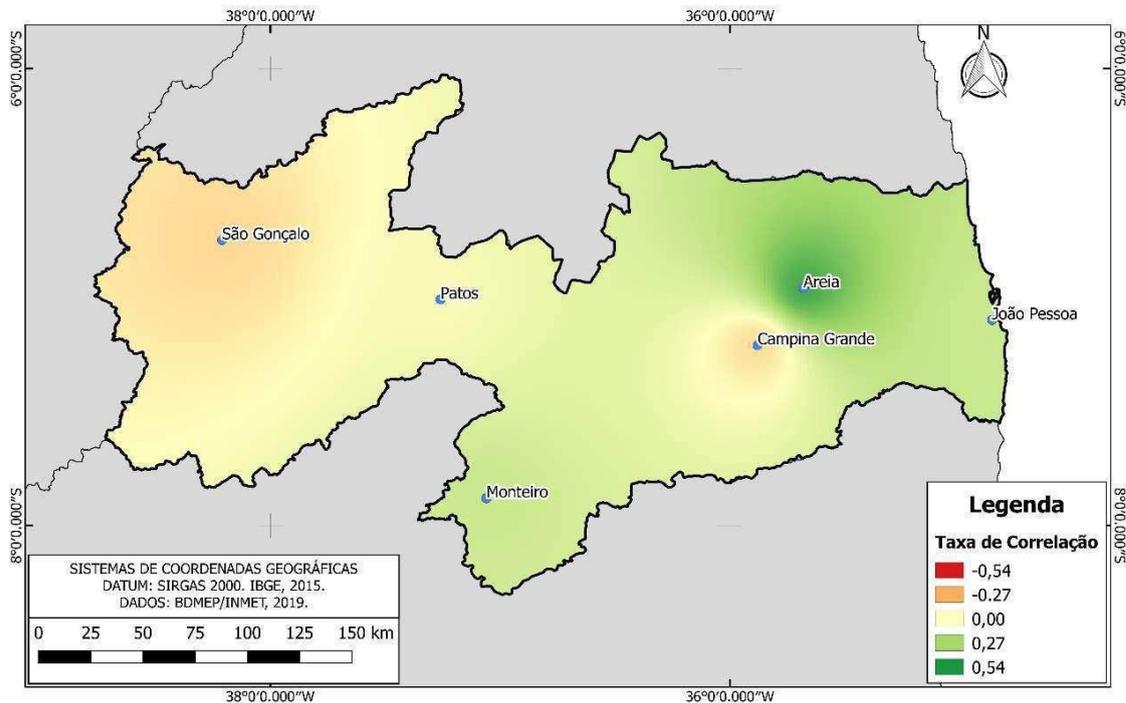
(b)



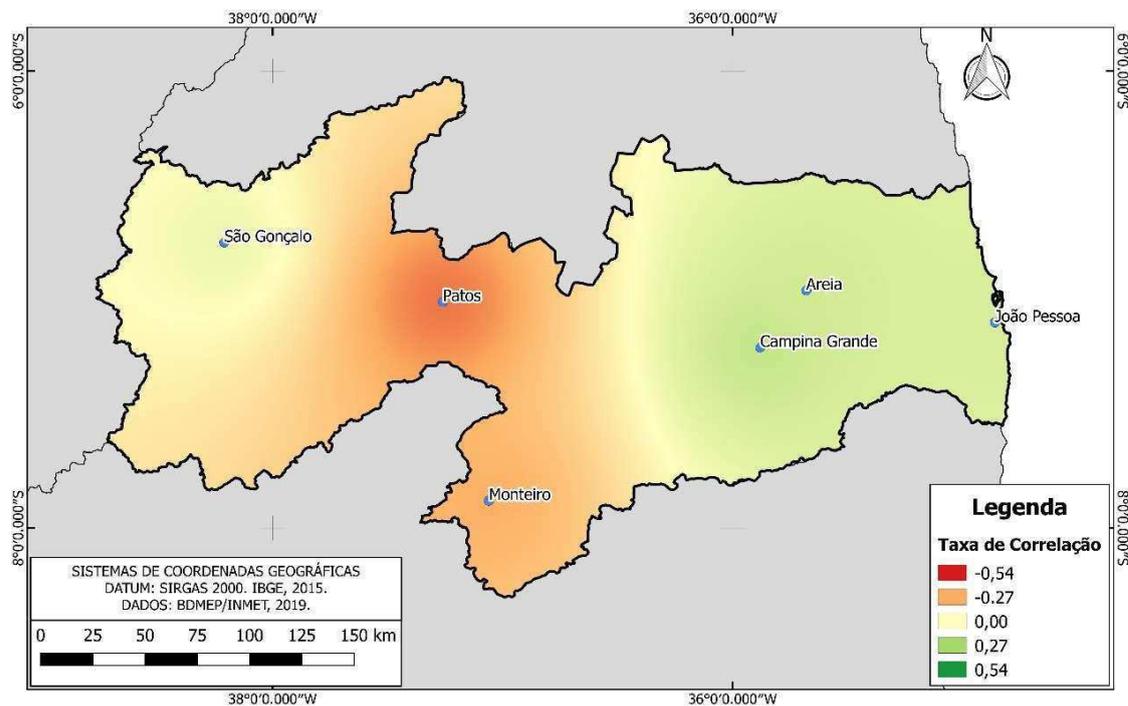
(c)



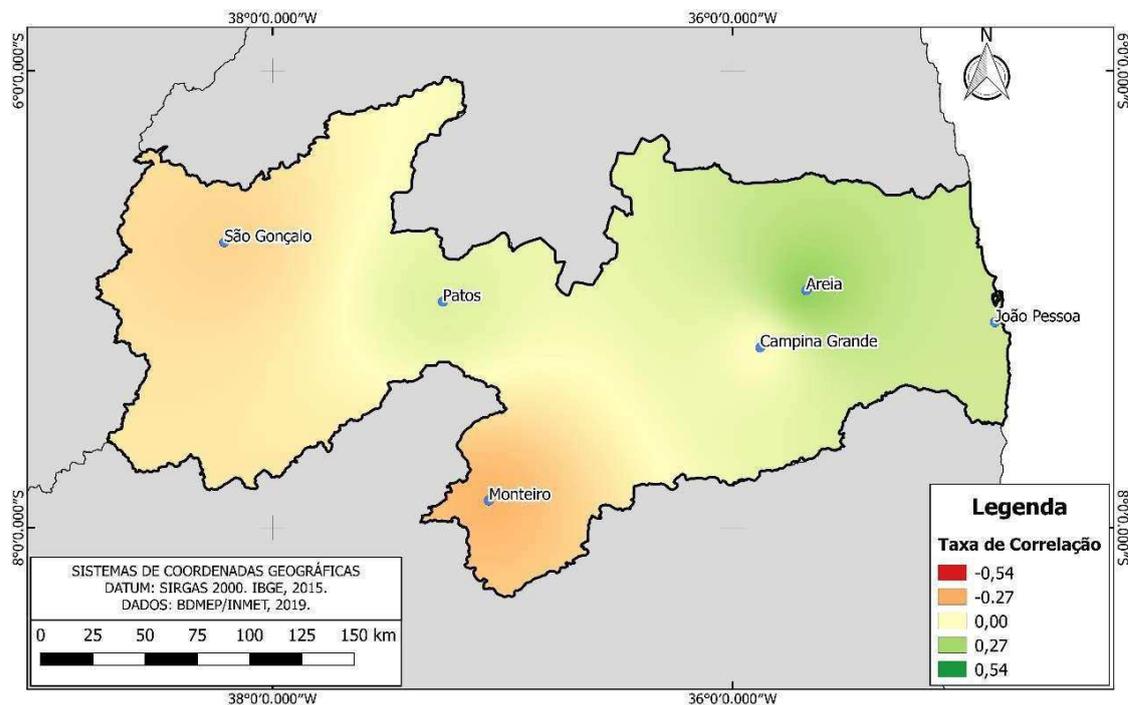
(d)



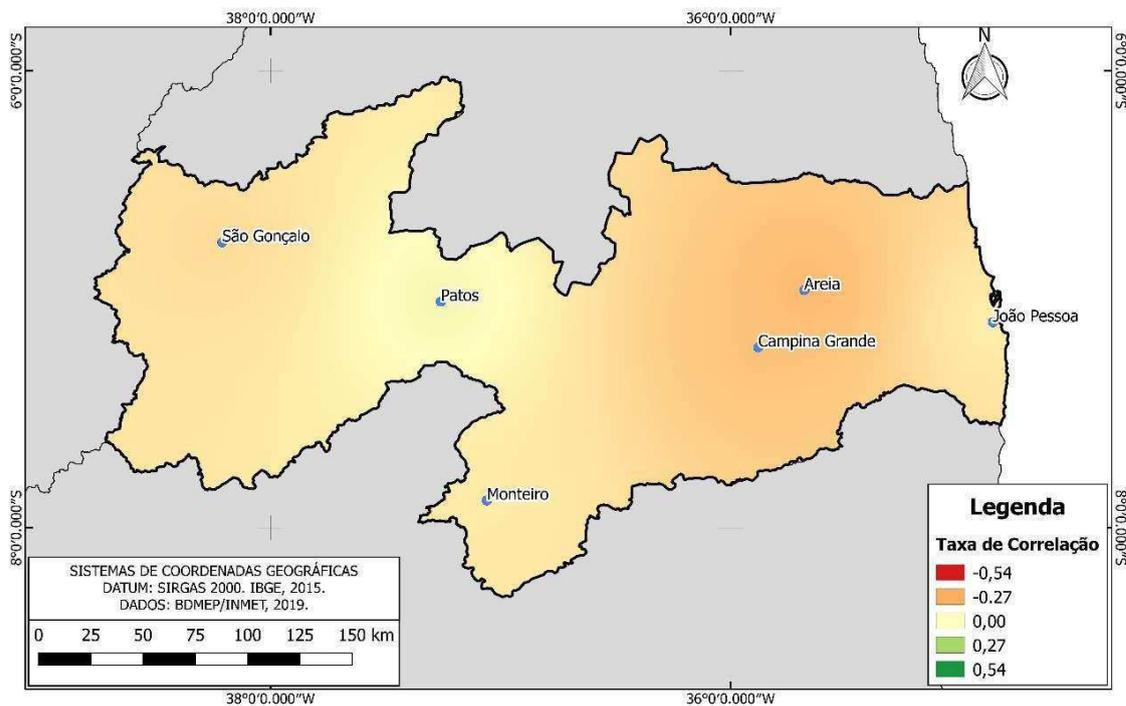
(e)



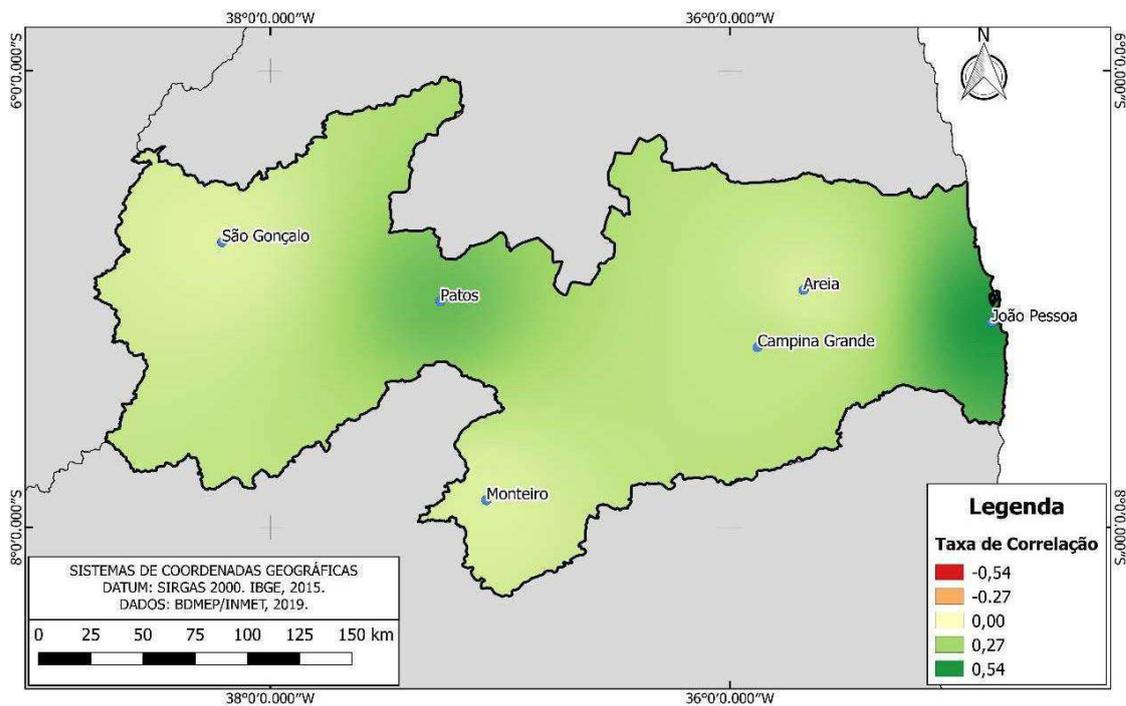
(f)



(g)



(h)



(i)

Fonte: Autoria própria, 2019.

6. CONCLUSÃO

Baseado nos objetivos propostos e resultados obtidos pode-se concluir que:

Infelizmente ocorreram muitas falhas em 5 das 6 séries, João Pessoa obteve a melhor qualidade de dados para a execução dos testes, com apenas 1,65% de falhas, o que possibilitou uma melhor análise em todos os índices estudados. O cenário ideal é que não houvesse falhas em nenhuma das variáveis estudadas

Observando os índices de Areia, podemos concluir diminuição no índice DTR devido ao aumento de TNN maior que o da TMax média e aumento de TR e WSDI e diminuição de CSDI devido ao aumento em TNN. Campina Grande não chegou a apresentar tendências significativas quando aos índices analisados, porem pode-se notar o mesmo fenômeno de Areia entre os índices CSDI e WSDI. A cidade de João Pessoa apresentou aumento significativo tanto em Tmax média, quanto em TXX. Em relação aos índices CSDI e WSDI, João Pessoa, demonstrou o mesmo padrão de Areia, mas de forma mais simplória, com dois *outliers no ano de 2010 e 2016*. Monteiro, assim como Campina Grande, não apresentou nenhuma tendência significativa quanto aos índices analisados, porem diferente de todos os outros, demonstrou ordem inversa, se analisarmos os índices CSDI e WSDI. Em Patos, o aumento significativo do índice DTR, Tmax Média e TXX enquanto há diminuição mais acentuada do índice TNX, evidencia-se a formação de extremos de temperatura, condição essa, alcançada provavelmente pela localização semiárida onde está inserida. Diferentemente das outras localidades, a análise dos índices CSDI e WSDI, demonstrou aumento ao longo dos últimos anos tanto na quantidade de ondas de calor, como nas de frio, o que corrobora a primeira conclusão. São Gonçalo, assim como Campina Grande e Monteiro, não apresentou nenhuma tendência significativa nos índices estudados. Quanto ao índice CSDI, salvo o *outlier* de 2011, os dados se mantiveram constantes, já para WSDI, o mesmo é valido, sem ressalvas.

Como exposto nos resultados, apenas as informações de João Pessoa foram analisados quanto aos dados de precipitação. Podemos observar que houve variação significativa no índice R99p, que representa a quantidade de dias extremamente úmidos, o que pode estar relacionado ao aumento significativo na temperatura máxima máxima e na temperatura máxima média.

Os mapas apresentam alta heterogeneidade quanto aos níveis de classificação e sua ocorrência, podemos concluir que os mapas dos índices

TMinMed e TmaxMed, e SU e TR apresentaram relação satisfatória quando a distribuição espacial da correlação dos dados, porém o mesmo não pode-se dizer os outros, apresentando comportamento inverso ao esperado.

Podemos concluir que, mesmo com falhas na série histórica, conseguimos identificar tendências significativas de índices de extremos climáticos em 3 das 6 áreas estudadas o que pode-se traduzir como mudanças no clima específico de cada localidade. Essas alterações podem estar relacionadas às mudanças climáticas globais.

Por fim, para trabalhos futuros, seria interessante realizar estudos de tendência de índices de extremos climáticos com metodologias que removessem a interferência de fenômenos macroclimáticos dos dados tanto de temperatura quanto de precipitação.

7. REFERENCIAL BIBLIOGRAFICO

ABREU, M. L., Uso de modelos de circulação geral da atmosfera para simular o clima e a variabilidade climática. Sant'Anna Neto J. L. Zavatin. J. A. **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. 1ª ed. Editora da Universidade Estadual de Maringá, p. 83-93 2000.

BRAGA, C. C. SILVA, B. B. Determinação de regiões pluviometricamente homogêneas no Estado da Paraíba. **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 6, Salvador. Anais... Salvador, 1990. p.200-205.

BRAGANZA, K. KAROLY, D.J. HIRST A.C MANN, M.E STOTT, P STOUFFER, R.J TETT S.F.B. Simple indices of global climate variability and change - Part II: attribution of climate change during the twentieth century, **Climate Dynamics**, v. 22, n. 8, p. 823-838, 2004.

CAVALCANTI, E. P., SILVA, V. de P. R., SOUSA, F. de A. S. de, Programa computacional para a estimativa da temperatura do ar para a região Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Brasil, v. 10, n. 1, p. 140-147, 2006.

CONTI, J. B. Considerações sobre mudanças climáticas globais. **Variabilidade e Mudanças Climáticas**. Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR p. 17-28, 2000.

DOS SANTOS, C. A. C., **Estimativas e tendências de índices de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba**. Dissertação (Mestrado em meteorologia). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande-PB, p 54. 2006.

EFRON, B., TIBISHIRANI, R. J. An introduction to the bootstrap. **New York: John Wiley & Sons**, 1993. p. 642.

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas**. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010

FRANCISCO, P. R. M., SANTOS, D., Climatologia do estado da Paraíba, 1 edição. **EDUEFCG**. 2017. Campina Grande—PB. Disponível em: <<https://portal.insa.gov.br/images/acervo-livros/Climatologia%20do%20Estado%20da%20Paraiba%20editora.pdf>>. Acesso em: set. 2019.

GONZALES, R.C., WOODS, R. E. Processamento Digital de Imagens. trad. Yamagami, C., Piamonte, L. 3ed. 2010. **Pearson Prentice Hall**, São Paulo.

IBGE. **Censo Demográfico 2010**. Disponível em: <
<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=25&dados=10>>. Acesso em:
Jun. 2019.

IBGE. **Divisão regional do Brasil em regiões geográficas imediatas e regiões geográficas intermediárias**. 2017. Disponível em: <
https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/>. Acessado em: set. 2019.

IBGE. **Cidades: Panorama**. 2019. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>>. Acesso em: set. 2019.

IPCC. **Climate Change 2001: The Scientific Basis. IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change**. Editora Cambridge University Press, 2001.

IPCC. **Climate Change and Biodiversity. Cambridge University Press**, 86 p., 2002.

KENDALL, M.G., **Rank Correlation Methods**. Charles Griffin, London. 1975

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n.9, p.1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E. GAN, M. A. Upper Tropospheric Cyclone Vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, v.33, p.538–550, 1981.

LOPES, José Ricardo Ferreira; SILVA, Djane Fonseca da. Comparação de tendências climáticas para região de baturité (CE). **IV Encontro Universitário da UFC no Cariri**. Juazeiro do Norte - CE, ed. IV, 17 a 19 de Dezembro de 2012.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. **Econometrica** 13, 245-259. 1945.

MIRANDA, J. I. Fundamentos de sistemas de informações geográficas. **Embrapa Informação Tecnológica**. 2ª ed. Brasília, DF. 2010.

MORAES, I. S., FERREIRA, H. S. OLIVEIRA. S. F. C., A utilização do sig como ferramenta para indicação de áreas possíveis a implantação de aterro sanitário na região metropolitana de Belém – PA. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, 2010, p. 1-4.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2ed. – Viçosa: UFV, 307 p., 2003.

NEETI, N., EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, 15(5): 599-611. 2011.

PENEREIRO, J. C., ORLANDO, D. V., Análises de tendências em séries temporais anuais de dados climáticos e hidrológicos na bacia do rio parnaíba. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, Roraima, ano 2, v. 7, n. 1, ed. 1, p. 5-21, Dezembro 2013.

PEREIRA, N. S. SILVA, N. C. CARVALHO JUNIOR, O. A. SILVA, S. D., A Importância do Geoprocessamento para a História e o Saber Ambiental. **FRONTEIRAS: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, Anápolis-Goiás, v.3, n.2, jul.-dez.2014, p.132-144.

R CORE TEAM (2014). What is R. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria. Disponível em: "<<https://www.r-project.org/about.html>>. Acessado em: set. 2019.

SANTOS, R. dos., **Estimativas e tendências de índices de extremos climáticos com base na precipitação diária no estado de Pernambuco**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2010.

SANTOS, C.A.C., BRITO, J. I. B. Análise dos índices de extremos para o semiárido do Brasil e suas relações com TSM e IVDN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.22, n.3, p.303-312, 2007.

SAUSEN, T. M. Sensoriamento Remoto e Suas Aplicações para Recursos Naturais. **INPE**, São José dos Campos, São Paulo. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#tania>>. Acessado em: set. 2019

SILVA, V. P. R. On climate variability in Northeast of Brazil. **Journal of Arid Environments**,58, pp 575–596, 2004.

STEINKE, E. T. **Considerações sobre variabilidade e mudança climática no Distrito Federal, suas repercussões nos recursos hídricos e informação ao grande público**. Tese (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília. Instituto de Biologia. Departamento de Ecologia, 2004.

TORCHETTO, N. L. et al., O uso do Quantum Gis (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tenente Portela (RS). **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental – REGET**. e-ISSN 2236 1170 - V. 18 n. 2, Mai-Ago 2014, p.719-726.

TUCCI, C. E. M. Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos. Brasília: ANA, 150 p. **Relatório técnico**, 2002.

Turner, M. D. Methodological Reflections on the Use of Remote Sensing and Geographic Information Science. **Human Ecological Research. Human Ecology**,vol 31 N° 2, jun. 2003.

VON STORCH, V.H. Misuses of statistical analysis in climate research. In HV von Storch and A Navarra (eds), **Analysis of Climate Variability: Applications of Statistical Techniques**, Springer -Verlag, Berlin, 1995.

YENIGUN, K. GUMUS, V. BULUT, H. Trends in streamflow of the Euphrates basin, Turkey. **Proceedings of the Institution of Civil Engineers**. 189-198, 2008

YUE, S., PILON, P., CAVADIAS, G. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. **Journal of Hydrology** 259:254-271. 2002.

ZHANG, W., FENG, Y., CHAN, R. Introduction to RClmDex v1.9. **Climate Research Division, Environment Canada**, Downsview, Ontario, Canada. Disponivel em: "<<https://github.com/ECCC-CDAS/RClmDex/blob/master/inst/doc/manual.pdf>>". Acessado em: set. 2019.

ZHANG, X., HEGERL, G., ZWIERS, F. W., KENYON, J. Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes. **Journal of Climate**, 18, 1641-1651, Jun. 2005.