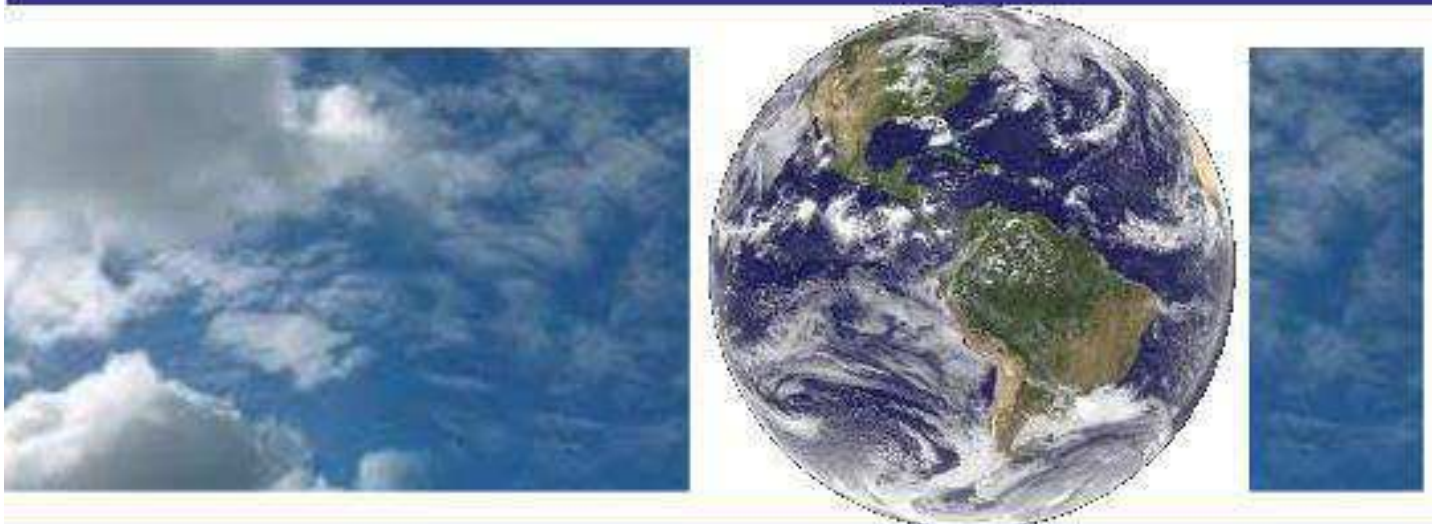


**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Maria Monalisa Mayara Silva Melo

**Análise das possíveis alterações dos extremos climáticos
devido à formação do lago artificial da Hidrelétrica de
Sobradinho – Bahia**

Campina Grande, fevereiro de 2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ANÁLISE DAS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS
DEVIDO À FORMAÇÃO DO LAGO ARTIFICIAL DA HIDRELÉTRICA DE
SOBRADINHO - BAHIA**

MARIA MONALISA MAYARA SILVA MELO

Campina Grande - PB

Fevereiro/2017

MARIA MONALISA MAYARA SILVA MELO

**ANÁLISE DAS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS
DEVIDO À FORMAÇÃO DO LAGO ARTIFICIAL DA HIDRELÉTRICA DE
SOBRADINHO - BAHIA**

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos

Área de Concentração: Meteorologia de Meso e Grande Escalas

Sub-área: Climatologia

Campina Grande - PB

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

M528a Melo, Maria Monalisa Mayara Silva.
Análise das possíveis alterações dos extremos climáticos devido à formação do lago artificial da hidrelétrica de Sobradinho - Bahia / Maria Monalisa Mayara Silva Melo. – Campina Grande, 2017.
56 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2017.
"Orientação: Prof. Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos".
Referências.

1. Mudanças Climáticas – Sobradinho-BA. 2. Temperatura – Sobradinho-BA. 3. Microclima de Sobradinho-BA – Construção de Usinas Hidrelétricas. I. Santos, Carlos Antonio Costa dos. II. Título.


CDU 551.583(813.8)(043)


MARIA MONALISA MAYARA SILVA MELO


ANÁLISE DAS POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DOS EXTREMOS CLIMÁTICOS
DEVIDO À FORMAÇÃO DO LAGO ARTIFICIAL DA HIDRELÉTRICA DE
SOBRADINHO - BAHIA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 23/02/2017

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. CARLOS ANTONIO COSTA DOS SANTOS
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. RICARDO ALVES DE OLINDA
Departamento de Estatística
Centro de Ciências e tecnologia
Universidade Estadual da Paraíba

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo geral	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. A usina hidrelétrica de Sobradinho	4
3.2. Usinas hidrelétricas e as alterações microclimáticas	5
3.3. Índices de detecção de eventos extremos climáticos	8
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
4.1. Área geográfica de estudo.....	12
4.2. Dados	14
4.3. Metodologia	16
4.3.1. Obtenção dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial e temperatura do ar representativos para as condições climáticas da região.....	16
4.3.2. Análise estatística das tendências dos índices através de testes não paramétricos	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5.1. Índices de extremos climáticos	25
5.2. Índices de extremos climáticos e TSM	39
6. CONCLUSÕES	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
8. APÊNDICE	54

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo direcionamento na minha vida através de sua infinita sabedoria e, por ter me permitido a conclusão deste trabalho.

A minha família, meu namorado e meus amigos pelo apoio e incentivo.

Ao professor Dr. Carlos Antonio Costa dos Santos pela orientação, paciência e incentivo durante o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Dr. José Ivaldo Barbosa de Brito por sua imensa paciência e dedicação durante o desenvolvimento desta dissertação. Muito obrigada por sua disponibilidade em esclarecer minhas dúvidas sempre que precisei.

Ao professor Dr. Ricardo Alves de Olinda por sua paciência e por suas valiosas contribuições na elaboração desta pesquisa.

A EMBRAPA pela disponibilização dos dados.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de estudo.

A todos os professores e funcionários da Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho. Muito obrigada!

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo	13
Figura 2: Regiões de temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4)	15
Figura 3: Regiões de temperaturas da superfície do mar no Oceano Atlântico Tropical (TNAI e TSAI)	15
Figura 4: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura do ar, estatisticamente significativos, para a estação de Bebedouro - PE, para o período de 1966 à 2014, onde: a) SU, b) TR, c) TXx, d) TXn, e) TNx, f) TNn, g) TX10p, h) TX90p, i) TN10p, j) TN90p e, k) DTR	30
Figura 5: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura do ar, estatisticamente significativos, para a estação de Mandacaru - BA, para o período de 1966 à 2014, onde: a) SU, b) TR, c) TXx, d) TXn, e) TNn, f) TX10p, g) TX90p, h) TN10p e, i) DTR	32
Figura 6: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial, estatisticamente significativos, para a estação de Bebedouro - PE, para o período de 1966 a 2014, onde: a) R10mm, b) R20mm, c) PRCPTOT e d) SDII.....	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Definição dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial e da temperatura do ar utilizados neste estudo	19
Tabela 2: Resultado dos testes não - paramétricos de Mann-Kendall, Sen-Slope e Pettitt para a estação de Bebedouro - PE, para os índices dependentes da temperatura do ar e precipitação pluvial, no período de 1966 - 2014	26
Tabela 3: Resultados dos testes não - paramétricos de Mann-Kendall, Sen-Slope e Pettitt para a estação de Mandacaru - BA, para os índices dependentes da temperatura do ar e precipitação pluvial, no período de 1966 - 2014	34
Tabela 4: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Pacífico Equatorial, para a estação de Bebedouro - PE, no período de 1966 - 2014	40
Tabela 5: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Atlântico Tropical, para a estação de Bebedouro - PE, no período de 1966 - 2014	42
Tabela 6: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Pacífico Equatorial, para a estação de Mandacaru - BA, no período de 1966 - 2014	43
Tabela 7: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas	

regiões do Oceano Atlântico Tropical, para a estação de Mandacaru - BA, no período de	
1966 - 2014	44

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

SIGLAS

BA – Bahia

CCI/CLIVAR – International Research Programme on Climate Variability Predictability
(Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática)

CDD – Consecutive dry days (Dias consecutivos secos)

CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco

CPATSA – Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido

CPC – Climate Prediction Center (Centro de previsão climática)

CWD – Consecutive wet days (Dias consecutivos úmidos)

DTR – Diurnal temperature range (Amplitude térmica diária)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

et al. – E outros

ETCCDMI – Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Indices (Equipe de Especialista em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas)

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Painel Intergovernmental de Mudanças Climáticas)

IVDN – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NCDC – National Climate Data Centre (Centro Nacional de Dados Climáticos)

NEB – Nordeste Brasileiro

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration (Agência Nacional Oceânica e Atmosférica)

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas

PE – Pernambuco

PRCP – Precipitação

PRCPTOT – Precipitação total anual

RX1day – Máximo total de 1 dia de precipitação

RX5day – Máximo total de 5 dias consecutivos de precipitação

R10mm – Número de dias com precipitação ≥ 10 mm

R20mm – Número de dias com precipitação ≥ 20 mm

R30mm – Número de dias com precipitação ≥ 30 mm

R95p – Dias muito úmidos

R99p – Dias extremamente úmidos

SDII – Simple daily intensity index (Índice de intensidade diária simples)

SST – Sea surface temperature (Temperatura da superfície do mar)

SU – Summer days (Dias quentes)

TMAX – Temperatura máxima

TMIN – Temperatura mínima

TNAI – Tropical Northern Atlantic Index (Índice do Atlântico Tropical Norte)

TNn – Mínima temperatura mínima

TNx – Máxima temperatura mínima

TN10p – Noites frias

TN90p – Noites quentes

TR – Tropical nights (Noites quentes)

TSAI – Tropical Southern Atlantic Index (Índice do Atlântico Tropical Sul)

TSM – Temperatura da superfície do mar

TXn – Mínima temperatura máxima

TXx – Máxima temperatura máxima

TX10p – Dias frios

TX90p – Dias quentes

UHS – Usina hidrelétrica de Sobradinho

SÍMBOLOS

°C – Graus Celsius

mm/ano – Milímetro por ano

std – Desvio padrão

% – Uma divisão por cem, ou percentual

RESUMO

O objetivo deste trabalho é verificar se a construção da usina hidrelétrica de Sobradinho - BA e, a conseqüente formação de seu lago artificial alterou o microclima local. Para isto, foram analisadas as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas, definidos pela OMM, para as estações de Bebedouro, em Petrolina - PE e Mandacaru, em Juazeiro - BA. Foram utilizados dados diários de precipitação pluvial e temperatura do ar, para o período de 1966 - 2014, cedidos pela EMPRAPA e, dados de anomalias mensais de TSM nas regiões dos Oceanos Atlântico e Pacífico, para o mesmo período, obtidos através do site do CPC/NOAA. Os testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Sen-Slope e Pettitt, foram utilizados para verificar a significância estatística das tendências. A correlação de Spearman foi utilizado para correlacionar as séries com as regiões de TSM nos Oceanos Atlântico e Pacífico. Os resultados das tendências indicam um aumento na temperatura máxima, quantidade de dias quentes e, na amplitude térmica diária, para duas estações estudadas. Porém, de acordo com o resultado do teste estatístico de Pettitt, não se pode atribuir o aumento desses índices à formação do lago da Usina Hidrelétrica de Sobradinho. As correlações entre as séries de precipitação e as regiões de TSM no Pacífico, para as duas estações, apresentaram correlações positivas para o índice CDD. Já as regiões de TSM no Atlântico não apresentaram correlações significativas com as séries de precipitação, para nenhuma das duas estações. As correlações entre as regiões de Nino (Pacífico) e as tendências de extremos de temperatura, para as duas estações, apontam um aumento na temperatura máxima, quantidade de dias quentes e, na amplitude térmica diária à medida que a TSM dessas regiões aumenta. A partir dos resultados obtidos, para as duas estações analisadas, não se pode afirmar que a construção da usina hidrelétrica de Sobradinho tenha alterado o microclima local.

Palavras-chave: Mudanças climáticas, temperatura, precipitação, Sobradinho.

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze if the construction of the artificial lake of Sobradinho hydroelectric plant - BA changed the local microclimate. For this, the trends of the climates change detection indices, defined by WMO, for the Bebedouro - PE and Mandacaru - BA meteorological stations were analyzed. For reach the objectives were used daily precipitation and air temperature data from EMBRAPA, for the period 1966 - 2014, and, SST anomalies data, for this same period, from Atlantic and Pacific oceans regions also were used from CPC/NOAA site. The Mann-Kendall, Sen-Slope and Pettitt non-parametric tests were used to verify the statistical significance of trends. The Spearman test was also used for analyze the relationship of series and SST regions. The results show that the maximum temperature, summer days, and diurnal temperature range, for two stations, trends increased. However, according to the results of Pettitt's statistical test, can not attribute the increase of these indices to the formation of the lake of the Sobradinho Hydroelectric Plant. The SST Pacific regions and precipitations series correlations, for two stations, showed positives correlations for CDD indice. For the SST of Atlantic regions and precipitations series did not showed significant correlations, for no one of two stations. The SST Pacific regions and temperature air trends correlations, for two stations, indicates an increase of maximum temperature, summer days and diurnal temperature range, when this SST regions increase too. From the results obtained, for the two stations analyzed, cannot be said that the construction of Sobradinho hydroelectric plant has changed the local microclimate.

Keywords: Climate change, temperatura, precipitation, Sobradinho.

1. Introdução

A energia elétrica no Brasil, em sua grande maioria, é gerada em usinas hidrelétricas, porém, em geral, a construção destas usinas origina a formação de grandes lagos artificiais, devido ao represamento dos rios. A formação de lagos artificiais tem sido tema de alguns estudos no Brasil (Fisch et al., 1990; Sanches e Fisch, 2005; Pereira et al., 2009), principalmente devido às mudanças que ocorrem no meio ambiente, e às interferências que afetam a vida da população que habitam as áreas que foram inundadas e os entornos.

Para a região do semiárido do Nordeste Brasileiro (NEB), os estudos microclimáticos desenvolvidos associados à formação da lâmina d'água ainda são insuficientes. Pode-se citar, por exemplo, Correia et al. (2006a,b) que desenvolveram pesquisas sobre a ocupação do solo e as variações atmosféricas sobre a área do lago da Usina Hidrelétrica de Sobradinho (UHS), no estado da Bahia.

As mudanças decorrentes da construção de uma represa em um determinado local podem originar variações no comportamento de elementos meteorológicos, a exemplo do vento, da temperatura e umidade do ar. Para avaliar o impacto ambiental causado pela formação de lagos artificiais no microclima de uma região, são realizadas análises, utilizando-se séries históricas de dados, comparando os períodos anterior e posterior ao enchimento do lago.

O interesse da comunidade científica pelo estudo da variabilidade e mudança do clima tem aumentado nos últimos anos, principalmente, devido ao possível papel da atividade antrópica na observada mudança climática, e nas consequências que essa mudança causa nos mais diversos setores da vida humana.

Muitos dos estudos de variabilidade e mudança do clima consideram as variações de precipitação pluvial e de temperatura do ar como índices de detecção de mudanças

climáticas porque tem um registro observacional razoavelmente longo e de qualidade. Os extremos climáticos podem ser definidos pela ocorrência de valores de variáveis meteorológicas que ultrapassam um determinado nível, correspondendo a uma pequena probabilidade (Santos, 2006).

As alterações microclimáticas são, talvez, os mais significativos impactos no ambiente urbano. A construção de uma usina hidrelétrica, e a consequente formação de um lago artificial, causam impactos ambientais irreversíveis. Apesar das usinas hidrelétricas utilizarem um recurso natural renovável, sem custo, que é a água, ainda assim, alteram a paisagem, em decorrência de desmatamentos, provocando prejuízos à fauna e à flora, inundando áreas onde se tinham residências, plantações, e criações de animais, além do deslocamento de muitas famílias de suas residências.

Portanto, foi com base na escassez de estudos microclimáticos sobre a região do lago artificial de Sobradinho, bem como, na problemática aqui apresentada, que se procurou desenvolver este estudo. Sendo assim, a presente pesquisa considerou a hipótese de que a formação do lago artificial da usina hidrelétrica de Sobradinho alterou o microclima local, provocando alterações nos elementos meteorológicos.

Nesse contexto, esta pesquisa tenta prover novas informações sobre as tendências de extremos climáticos, dependentes da precipitação pluvial e da temperatura do ar, para a região do lago da UHS, através da análise de índices de detecção de mudanças climáticas. O foco desta pesquisa é particularmente importante para a região da UHS, uma vez que mudanças microclimáticas acarretam significativos impactos nos setores natural, social e econômico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

A presente pesquisa objetiva verificar se a construção da usina hidrelétrica de Sobradinho e a consequente formação de seu lago artificial alterou o microclima local. Para isto, foram analisadas as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas, dependentes de dados diários da precipitação pluvial e da temperatura do ar, definidos pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), para as estações de Bebedouro, em Petrolina - PE e Mandacaru, em Juazeiro - BA.

2.2. Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram alcançados:

- Obtenção e análise de índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial e da temperatura do ar representativos para as condições climáticas da região;
- Análise estatística das tendências dos índices através de testes não paramétricos;
- Correlacionar os índices de extremos climáticos, obtidos para as duas estações meteorológicas de estudo e, as anomalias de temperatura das superfícies dos Oceanos Atlântico e Pacífico, para verificar se os resultados obtidos foram decorrentes de efeito local ou remoto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A usina hidrelétrica de Sobradinho

A UHS está localizada no município de Sobradinho, estado da Bahia, a uma distância de cerca de 40 km à montante das cidades de Juazeiro - Bahia e Petrolina - Pernambuco. Construída entre 1973 e 1978 pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), a usina iniciou sua operação em novembro de 1979, tendo como objetivo principal, regularização dos recursos hídricos da região, sendo esta, uma das poucas hidrelétricas do rio que atua no controle de cheias (CHESF, 2016).

Além do papel importante na redução de piques de cheia e, a interligação Norte - Nordeste, através de linha de transmissão entre Sobradinho e a usina hidrelétrica de Tucuruí - PA, Sobradinho ainda abastece o mais bem-sucedido projeto público de irrigação no Brasil – o Projeto Nilo Coelho, com área irrigável de 25.000 hectares (Comitê Brasileiro de Barragens, 2011; CHESF, 2016).

A construção de Sobradinho implicou na formação de um lago artificial de 4.214 km², no deslocamento de 11.400 famílias, cerca de 70 mil pessoas, das quais 80% eram compostas por camponeses que abasteciam o mercado regional, e na inundação das sedes municipais e de parte do território de quatro municípios: Casa Nova, Remanso, Pilão Arcado e Sento Sé e de outros pequenos povoados situados às margens do rio São Francisco (Sigaud, 1992).

Com a transferência, a maior parte da população ribeirinha foi deslocada pelo estado e reassentada a vários quilômetros das margens originais do rio, em plena caatinga, em solos impróprios para o plantio. Com a formação do lago desapareceram as melhores terras para a agricultura. Inúmeras evidências indicavam que os camponeses não avaliavam o significado da construção de Sobradinho, nem as implicações do enchimento do reservatório sobre seu modo de vida tradicional. Não dispondo de parâmetros que lhes

permitissem dimensionar a intensidade das transformações que aquele acontecimento - o avanço das águas - produziria sobre suas vidas (Sigaud, 1992).

Os impactos da construção de usinas hidrelétricas provocam mudanças no ciclo natural dos rios e na vegetação; alteram a disponibilidade hídrica para múltiplos fins; estão associados à remoção de populações das áreas dos reservatórios; às interferências com populações indígenas, com sítios arqueológicos, com áreas de preservação ambiental, em especial as de proteção integral; à proteção da flora nativa e da fauna silvestre; e à preservação da qualidade dos recursos hídricos (Comitê Brasileiro de Barragens, 2011).

Os problemas ambientais existentes na bacia do rio São Francisco são decorrentes, em grande parte, dos desmatamentos em sua cabeceira e da mata ciliar e da sequência de barramentos para geração de energia elétrica, em especial a construção da UHS, que alterou em definitivo a dinâmica de enchentes e vazantes do rio, bem como o fluxo de sedimentos, elemento fundamental para transporte de nutrientes para manutenção das condições da vida aquática ao longo do rio (CGEE, 2012).

3.2. Usinas hidrelétricas e as alterações microclimáticas

Os impactos associados à construção de uma usina hidrelétrica podem provocar mudanças microclimáticas que acarretam em danos significativos nos setores natural, social e econômico. Segundo Guerra e Carvalho (1995), as alterações climáticas têm a propriedade de provocar reflexos do projeto em regiões distantes daquela do objeto de intervenção, alterando assim, características como o perfil do vento, temperatura do ar e nebulosidade.

Grimm (1988) aplicou testes estatísticos em uma série de dados para analisar os períodos anterior e posterior à construção da hidrelétrica de Itaipu. Os resultados mostraram um aumento da temperatura mínima e da evaporação. A temperatura máxima

diminuiu, sendo particularmente significativo os resultados para o mês de agosto. Em contrapartida, não houve variação da precipitação total mensal e máxima mensal.

Correia e Silva Dias (2003) desenvolveram um estudo sobre a variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da região. Os resultados mostraram que as características do terreno na região do lago favoreceram o desenvolvimento de um sistema de circulação complexo e que a alteração na dimensão e geometria do lago promoveram variações diurnas nos elementos climáticos.

Sanches e Fisch (2005) realizaram um estudo sobre as possíveis alterações microclimáticas devido à formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí – PA, utilizando dados diários e totais mensais de precipitação para os períodos pré-enchimento e pós-enchimento do lago. Com base nos resultados obtidos constatou-se que não ocorreram alterações significativas nos regimes de precipitação. Entretanto, houve um leve indício de que o mês de outubro passou a ser sensível a um aumento de chuvas fracas e moderadas.

Correia et al. (2006a,b) desenvolveram estudos sobre a ocupação do solo e as variações atmosféricas sobre a área do lago de Sobradinho, a análise dos dados indicaram que as variações estatisticamente significativas observadas no vento e na umidade atmosférica foram causadas pelas mudanças verificadas no uso e ocupação do solo na região do lago. Além disso, a substituição da vegetação nativa por plantações e culturas irrigadas foram os responsáveis pela formação de uma variedade de microambientes na região estudada.

Pesquisas que buscam associar os índices de detecção de extremos climáticos com regiões que possuem lagos são escassas, principalmente no Brasil. Nesse contexto, pode-se citar, por exemplo, Nandintsetseg et al. (2007) que analisaram as tendências dos índices extremos climáticos, dependentes da precipitação pluvial e da temperatura do ar, para a

região do lago Hovsgol, na Mongólia, e identificaram em seus resultados, que as temperaturas médias máximas e mínimas aumentaram significativamente quase 2 °C entre 1963 e 2002 na área do lago. Houve reduções significativas na frequência de extremos de frio e aumentos na frequência de extremos de calor. Além disso, na parte sul do lago Hovsgol, por exemplo, a frequência de noites quentes está aumentando rapidamente.

Hu et al (2012) analisando as tendências dos índices de detecção de mudanças climáticas para a região do rio Yellow, na China, observaram que o aquecimento na região de estudo resultava principalmente de aumento significativo na temperatura mínima durante o inverno. Além disso, foi observado que o aumento da temperatura mínima é maior que o da temperatura máxima, na região de estudo.

Tao et al. (2014) que realizaram um estudo, para o período de 1959 - 2010, sobre as tendências dos índices de extremos de temperatura do ar para a bacia do lago Poyang, China. Os resultados dos testes estatísticos apontaram que a média anual da temperatura mínima aumentou significativamente, assim como, os demais índices relacionados à temperatura mínima.

Amirabadizadeh et al. (2015) realizaram um estudo sobre as tendências na temperatura e precipitação para a região da bacia do rio Langat, na Malásia. Foi observado, que a parte norte e leste da bacia se tornou mais quente e úmida durante o período do estudo. Todas as tendências significativas para a precipitação e a temperatura indicaram um aumento gradual nessas variáveis.

Shrestha et al. (2017) estudando as tendências e mudanças na temperatura e precipitação extremas sobre a região da bacia do rio Koshi, concluíram que, o número de noites quentes aumentou e, as noites frias diminuíram. Houve um aumento, ainda, no número de dias consecutivos secos, amplitude térmica diária e, nas temperaturas máxima

e mínima. Em geral, as mudanças foram mais significativas na temperatura mínima, além disso, a temperatura mínima aumentou três vezes mais rápido que a temperatura máxima, sendo o aumento mais significativo observado no inverno. Os resultados, para os extremos de precipitação, sugerem que a bacia do rio Koshi está se tornando mais úmida, mas, as mudanças não obtiveram resultados significativos em todas as estações.

3.3. Índices de detecção de eventos extremos climáticos

Um evento extremo climático pode ser definido como um evento raro que ocorre em um determinado local e época do ano. A definição de “raro” varia, porém, um evento climático extremo seria normalmente considerado tão raro quanto ou mais raro do que o percentil 10 ou 90 da função densidade de probabilidade. Por definição, as características do que é chamado de tempo extremo pode variar de local para local (IPCC, 2007).

Eventos extremos isolados não podem ser diretamente atribuídos a mudança climática antropogênica, pois o evento em questão pode ter ocorrido naturalmente. Quando um padrão de evento de tempo extremo persiste por algum tempo, como por exemplo, ao longo de uma estação do ano, esta pode ser classificada como evento climático extremo, principalmente se o evento produzir uma média ou total que é o próprio extremo, como secas ou chuvas intensas durante a estação, por exemplo (IPCC, 2007).

Segundo o IPCC (2013), os eventos extremos de precipitação, assim como, o aumento da temperatura média da superfície da Terra, se tornarão mais frequentes e intensos até o final do século XXI. O IPCC (2013) mostra, ainda, que muitos estudos regionais têm analisado as mudanças nos extremos climáticos e têm, geralmente, identificado que as temperaturas mínimas têm aumentado mais rápido do que às máximas.

Os índices de extremos climáticos foram desenvolvidos a partir da década de 1990 (Folland et al., 1999; Nicholls e Murray, 1999), com o objetivo de criar uma quantidade de índices que poderiam ser calculados para uma variedade de climas e habilitado para a comparação entre regiões, bem como, de realizar análises mais regionais, devido a necessidade de incluir resultados de regiões que faltavam estudos publicados, a exemplo de países subdesenvolvidos, pois não dispunham de recursos para pesquisas e, por terem acesso limitado de dados (Santos, 2006).

Sendo assim, a Organização Mundial de Meteorologia (OMM) estabeleceu a Equipe de Especialista em Detecção, Monitoramento e Índices de Mudanças Climáticas (Expert Team on Climate Change Detection, Monitoring and Índices - ETCCDMI) em conjunto com o Programa Internacional de Pesquisa em Previsão da Variabilidade Climática (International Research Programme on Climate Variability Predictability - CCI/CLIVAR) que é o conselho que monitora índices climáticos.

Baseando - se na publicação de Frich et al. (2002), o ETCCDMI identificou regiões fundamentais para promover estudos sobre mudanças climáticas: o Caribe, América do Sul e Central, África e Ásia Central e Oeste e, inicialmente, instituíram 27 índices de extremos climáticos baseados em dados diários de precipitação pluvial e temperatura do ar.

Groisman et al. (1999), desenvolveram o primeiro estudo de chuvas extremas para diversos países do globo. Eles examinaram os extremos, para oito países: Canadá, Estados Unidos, México, Antiga União Soviética, China, Austrália, Noruega e Polônia. Easterling et al. (2000) identificaram em alguns estudos que os eventos de precipitação intensa estavam aumentando sobre diferentes partes do mundo, tais como: Estados Unidos, China, Austrália, Japão, Noruega, África do Sul, Canadá, enquanto que os eventos de

seca também estavam aumentando em algumas regiões, com destaque para China, Japão, Etiópia e Tailândia.

Em seguida, foram publicados os trabalhos de Klein Tank e Konnen (2003) e Haylock e Goodess (2004) examinando as tendências e a variabilidade dos índices extremos para quase toda Europa. Vincent et al. (2005) realizaram uma análise das tendências nos índices de extremos de temperatura para a América do Sul. Os resultados mostraram que as noites mais frias do ano estão ficando mais quentes e que há mais noites tropicais (com temperatura superior aos 25 °C). A porcentagem de noites frias está diminuindo enquanto a porcentagem de noites quentes está aumentando.

No semiárido brasileiro, a precipitação é uma variável muito importante na definição do clima. Os impactos ambientais na região NEB estão associados, na maioria das vezes, com cheias e inundações ou, ainda, com estiagens prolongadas, ocasionando impactos na vida humana, na economia e nos ecossistemas naturais. Santos et al. (2009) realizaram um estudo sobre eventos extremos de precipitação para o estado do Ceará, e seus resultados evidenciaram um aumento nas condições de umidade, predominantemente sobre a região norte do estado do Ceará.

Santos e Brito (2007), verificaram as tendências de índices de detecção de mudanças climáticas e suas relações com TSM e IVDN, nos estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, utilizando-se de dados de precipitação pluvial diária. Seus resultados mostraram que houve um aumento no número de dias com chuvas, na precipitação total anual e no número de dias extremamente úmidos, como também, em algumas regiões um aumento na ocorrência de chuvas superiores a 50 mm.

Mais recentemente, Silva et al. (2015) fizeram uma análise das tendências de extremos climáticos de temperatura do ar e de precipitação pluvial para o estado do Paraná. Os resultados apontaram para um padrão de aquecimento generalizado

estatisticamente significativo em grande parte do estado. A porcentagem de dias e noites quentes no Paraná está se elevando a uma taxa entre 0,1 e 0,4%/ano, respectivamente. Os índices relacionados à temperatura mínima exibem um sinal de tendência de aumento mais significativo do que os índices associados à temperatura máxima.

Dantas et al. (2015) utilizando-se de testes estatísticos não paramétricos obtiveram as tendências dos índices de extremos climáticos para a cidade de Campina Grande - PB. Os resultados identificaram um aumento das temperaturas máximas e mínimas diárias, bem como, um aumento no número de dias e noites quentes. Santos et al. (2016) analisando as tendências de índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial para o estado do Amazonas, observaram que o índice “dias consecutivos secos” (CDD), de maneira geral, apresentou tendência de aumento para todo o estado, evidenciando, um aumento nos dias de estiagem para o Amazonas.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Área geográfica de estudo

A usina hidrelétrica de Sobradinho (40°50W, 9°35S) está localizada no município de Sobradinho, estado da Bahia, a uma distância de cerca de 40 km a montante das cidades de Juazeiro - Bahia e Petrolina - Pernambuco. Construída pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF), entre 1973 e 1978, a usina iniciou sua operação em novembro de 1979. A usina está localizada no rio São Francisco, principal rio da região NEB, com uma bacia hidrográfica de 630.000 km², e uma extensão de 3.200 km, desde sua nascente na Serra da Canastra, em Minas Gerais, até sua foz em Piaçabuçu - Alagoas e Brejo Grande - Sergipe (CHESF, 2016).

A UHS está posicionada a 748 km da foz do rio, desempenhando, além da função de geração de energia elétrica, a de principal fonte de regularização dos recursos hídricos da região (CHESF, 2016). Possui cerca de 350 km de extensão, com uma superfície de espelho d'água de 4.214 km² e uma capacidade de armazenamento de 34,1 bilhões de metros cúbicos de água (Comitê Brasileiro de Barragens, 2011).

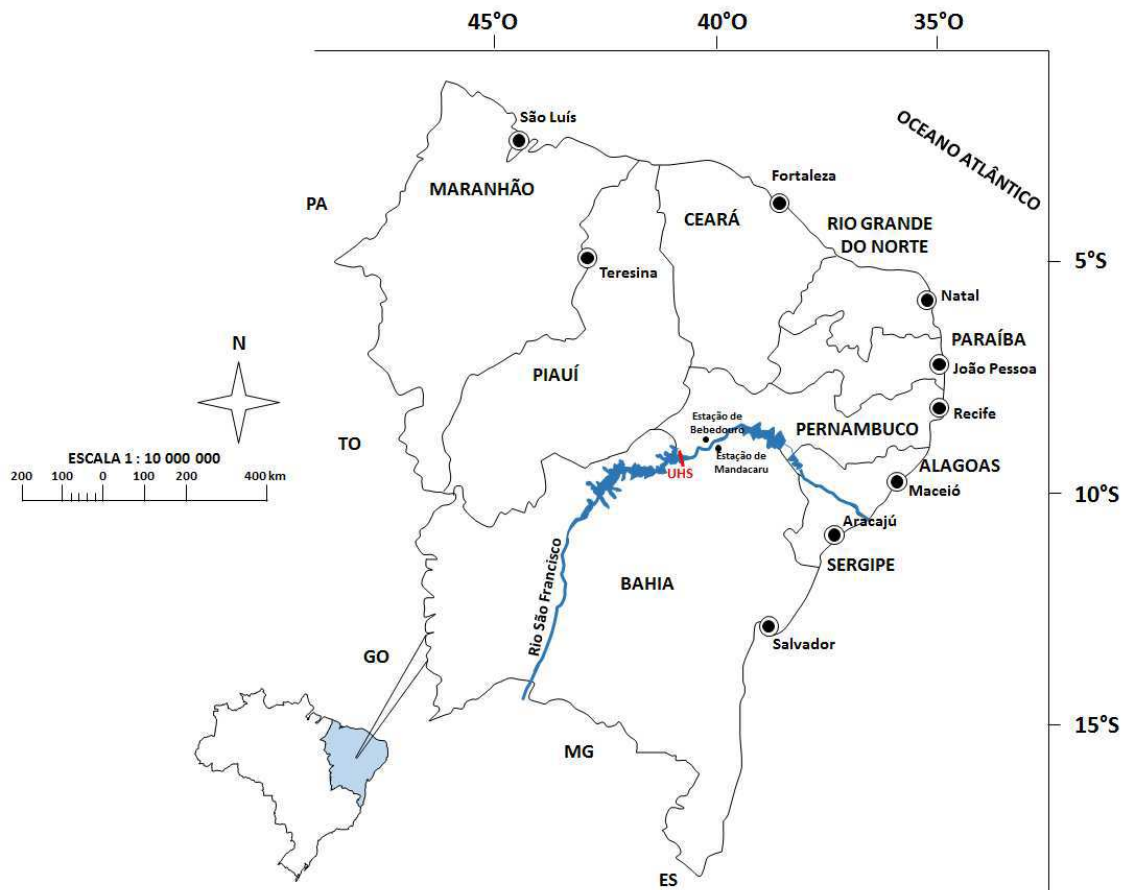


Figura 1: Localização da área de estudo.

Para Molion e Bernardo (2002), o NEB possui três regimes básicos de distribuição espacial das precipitações:

- No norte do NEB (Ceará e partes do Rio Grande do Norte, Piauí, Maranhão e oeste da Paraíba e de Pernambuco), os principais mecanismos de produção de chuva são a Zona de Convergência Intertropical, a convergência de umidade (brisa e perturbações ondulatórias no campo dos alísios), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis, a convecção local e, muito raramente, a influência direta das frentes frias. Os índices pluviométricos variam de 400 mm/ano (interior) a mais de 2.000 mm/ano (litoral), e os quatro meses mais chuvosos estão entre fevereiro e maio;

- O sul do NEB (cobre praticamente toda a Bahia, norte de Minas Gerais, noroeste do Espírito Santo e as partes sul do Maranhão e Piauí e extremo sudoeste de Pernambuco), tem, como principal mecanismo de precipitação pluvial, a estacionaridade de sistemas frontais alimentados pela umidade proveniente do Atlântico Sul. Os índices pluviométricos variam de 600 mm/ano (interior) a mais de 3000 mm/ano (litoral), e seu período mais chuvoso está compreendido entre os meses de novembro e fevereiro;
- A faixa costeira do leste do NEB (até 300 km do litoral) estendendo-se do Rio Grande do Norte ao sul da Bahia, apresenta clima quente e úmido com totais pluviométricos anuais variando de 600 mm à 3000 mm. O período mais chuvoso ocorre entre abril e julho. Segundo Ferreira et. al (1990), o mecanismo associado a estação chuvosa estaria relacionada a Distúrbios Ondulatórios de Leste.

4.2. Dados

Os dados diários de precipitação pluviométrica e de temperatura do ar, para o período de 1966-2014, são oriundos do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (CPATSA - EMBRAPA). Foram utilizados dados de duas estações meteorológicas: Bebedouro, em Petrolina - PE (09°09S; 40°22W) e Mandacaru, em Juazeiro - BA (09°24S; 40°26W), sendo a distância entre essas duas estações de 30 km. A distância entre as estações de Bebedouro e Mandacaru e a Usina de Sobradinho é de 65 km e 45 km, respectivamente.

Dados das anomalias mensais de temperatura da superfície do mar (TSM) nas regiões dos Oceanos Pacífico Equatorial – Niño 1+2 (0-10S, 90W-80W), Niño 3 (5N-5S,150W-90W), Niño 3.4 (5N-5S,170-120W) e Niño 4 (5N-5S,160E-150W) (Figura 2) e, Atlântico Tropical Norte (TNAI) (5.5N-23,5N, 15W-57,5W) e Atlântico Tropical Sul (TSAI) (Equador-20S, 10E-30W) (Figura 3), para o período de 1966 - 2014, foram obtidos do

site eletrônico do Climate Prediction Center (CPC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/>).

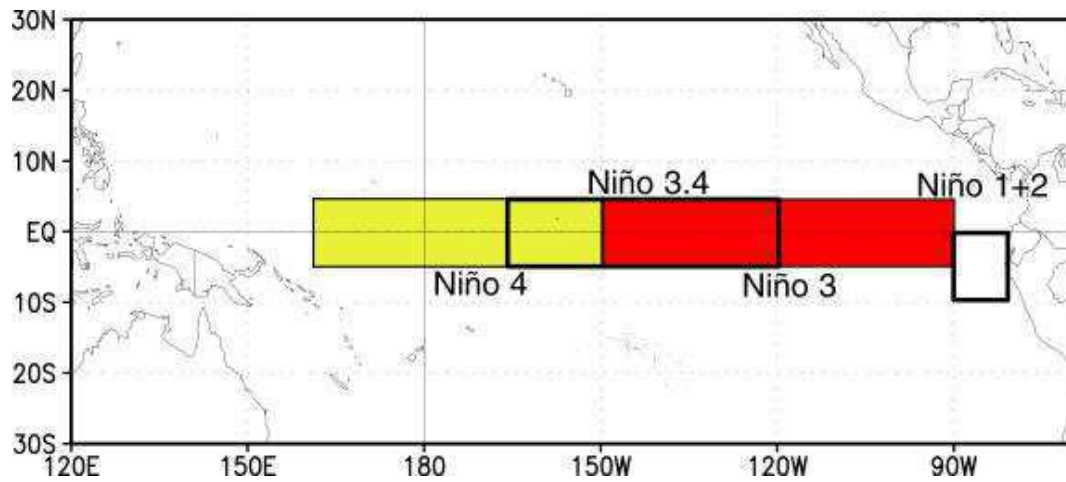


Figura 2: Regiões de temperaturas da superfície do mar no Oceano Pacífico Equatorial (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4). Fonte: NCEP, 2016.

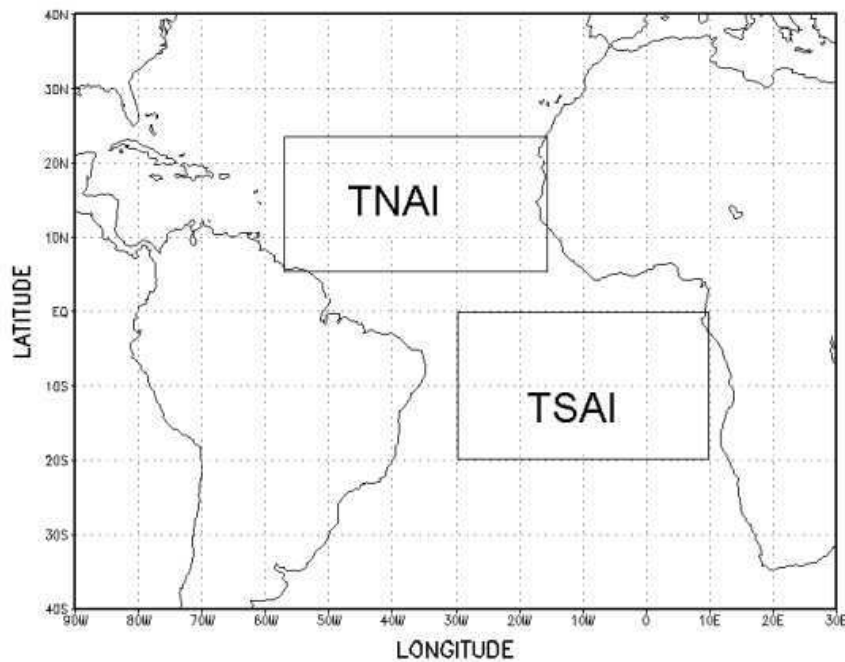


Figura 3: Regiões de temperaturas da superfície do mar no Oceano Atlântico Tropical (TNAI e TSAI). Fonte: Menezes et al., 2008.

4.3. Metodologia

4.3.1. Obtenção dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial e temperatura do ar representativos para as condições climáticas da região

a) Software R*Climdex*

O *ClimDex* é um programa, baseado no Microsoft Excel, que fornece um pacote de software usado para o cálculo de índices de extremos climáticos para monitoramento e detecção de mudanças climáticas. Foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Centre (NCDC) da National Oceanic Atmospheric Administration (NOAA), e tem sido usado em workshops do CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre índices climáticos desde 2001 (Zhang e Yang, 2004).

O objetivo original era colocar o *ClimDex* em um ambiente que não dependesse de um sistema operacional específico. Logo, era muito natural usar R como plataforma, já que o R é um software livre e ainda muito robusto e poderoso para análise estatística e gráficos. Ele é executado em ambientes Windows e Unix. Em 2003, descobriu-se que o método utilizado para calcular os índices de temperatura baseados em percentis no *ClimDex* e em outros programas resultou na não homogeneidade na série de índices. Uma correção para o problema requer um procedimento de inicialização que torna quase impossível implementar em um ambiente do Excel. Isso tornou mais urgente desenvolver este pacote baseado em R (Zhang e Yang, 2004).

Então surgiu o *RClimdex*, um software que foi projetado para fornecer uma interface amigável para calcular índices de extremos climáticos. Ele calcula todos os 27 índices básicos recomendados pela equipe do CCI/CLIVAR, bem como alguns outros índices de temperatura e precipitação com limites definidos pelo usuário. O software *RClimdex* 1.9.0, assim como o software R, são de distribuição gratuita e estão disponíveis para

download através dos sites (<http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>) e (<https://www.r-project.org/>), respectivamente.

Um dos principais objetivos da construção de índices climáticos extremos é utilizar para os estudos de monitoramento e detecção de alterações climáticas. Isto requer que os índices sejam homogeneizados. O *RClimDex* inclui apenas um procedimento de controle de qualidade de dados simples fornecido no *ClimDex* (Zhang e Yang, 2004).

Neste estudo, os índices de extremos climáticos foram calculados através do software *RClimdex* (versão 1.9.0), desenvolvido por Xuebin Zhang e Feng Yang para o Serviço Meteorológico Canadense (Zhang e Yang, 2004), seguindo a metodologia de Zhang et al. (2005a,b) e Haylock et al. (2006). Dos 27 índices de extremos climáticos, fornecidos pelo *RClimdex*, foram utilizados 22, dos quais, 11 são para análise de temperatura do ar e 11 para precipitação pluvial.

b) Controle de qualidade dos dados

De acordo com Zhang e Yang (2004), o controle de qualidade de dados do *RClimdex* é um pré-requisito para cálculos de índices e executa o seguinte procedimento:

1) substitui todos os dados faltosos (codificados como -99.9) em um formato interno reconhecido pelo R, e

2) substitui todos os valores não aceitáveis por -99.9. Esses valores incluem: a) todas as quantidades de precipitação diárias inferiores a zero; e todos os valores de temperatura máxima diária que sejam inferiores que os valores de temperatura mínima diária.

Além disso, o controle de qualidade também identifica outliers em temperatura máxima e mínima diária. Os outliers são valores diários fora de uma região definida pelo usuário. Atualmente esta região se define como n vezes o desvio padrão do valor do dia, isto é, $(\text{média} - n \times \text{sd}, \text{média} + n \times \text{sd})$. Onde sd representa o desvio padrão para o dia e n é uma entrada do usuário (Zhang e Yang, 2004).

Resultados estatísticos, para todos os índices, são fornecidos pelo software, tais como: tendência linear anual calculada pelo método de mínimos quadrados; nível de significância estatística da tendência (valor p); coeficiente de determinação (R^2) e erro padrão de estimativa; assim como os gráficos das séries anuais.

Além dos testes internos do *RClimdex*, também foram utilizados testes não-paramétricos para identificar se as tendências apresentaram significância estatística para o nível de 95% e de 99% de probabilidade.

Os índices de extremos climáticos, definidos pelo ETCCDMI, usados nesta pesquisa foram os seguintes:

Tabela 1: Definição dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial e da temperatura do ar utilizados neste estudo.

Índices	Nome	Definição	Unidades
SU	Dias quentes	Contagem anual quando TX (máximo diário) >25 °C	Dias
TR	Noites quentes	Contagem anual quando TN (mínimo diário) >20°C	Dias
TXx	Máx. Tmáx	Valor máximo mensal da temperatura máxima diária	°C
TXn	Mín. Tmáx	Valor mínimo mensal da temperatura máxima diária	°C
TNx	Máx. Tmín	Valor máximo mensal da temperatura mínima diária	°C
TNn	Mín. Tmín	Valor mínimo mensal da temperatura mínima diária	°C
TX10p	Dias frios	Porcentagem de dias quando TX <10 percentil	Dias
TX90p	Dias quentes	Porcentagem de dias quando TX >90 percentil	Dias
TN10p	Noites frias	Porcentagem de dias quando TN <10 percentil	Dias
TN90p	Noites quentes	Porcentagem de dias quando TN >90 percentil	Dias
DTR	Amplitude térmica diurna	Diferença mensal média entre TX e TN	°C
RX1day	Máximo total de 1 dia de precipitação	Máximo de precipitação mensal de 1 dia	mm
RX5day	Máximo total de 5 dias de precipitação	Máximo de precipitação mensal consecutivo de 5 dias	mm
SDII	Índice de intensidade diária simples	Precipitação média anual quando PRCP ≥ 1,0 mm	mm
R10mm	Número de dias com PRCP ≥ 10 mm	Contagem anual de dias em que PRCP ≥10 mm	Dias
R20mm	Número de dias com PRCP ≥ 20 mm	Contagem anual de dias em que PRCP ≥20 mm	Dias
R30mm	Número de dias com PRCP ≥ 30 mm	Contagem anual de dias em que PRCP ≥30 mm	Dias
CDD	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias consecutivos com RR <1 mm	Dias
CWD	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias consecutivos com RR ≥1 mm	Dias
R95p	Dias muito úmidos	Precipitação total anual quando RR >95p	mm
R99p	Dias extremamente úmidos	Precipitação total anual quando RR >99p	mm
PRCPTOT	Precipitação total anual	Precipitação total anual em dias úmidos (RR ≥1 mm)	Mm

4.3.2. Análise estatística das tendências dos índices através de testes não paramétricos

Após a obtenção das séries temporais dos 22 índices de extremos climáticos através do software *RClimdex*, para as duas estações meteorológicas utilizadas neste estudo, achou-se necessária a utilização de testes não-paramétricos para identificar se as tendências apresentavam significância estatística ao nível de 5% e de 1% de probabilidade. Os testes não paramétricos utilizados nesta pesquisa, foram calculados através do software R (versão 3.3.1), e estão descritos a seguir:

a) Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (Sneyers, 1975) é o método mais apropriado para analisar tendência de mudanças climáticas (Goossens e Berger, 1986). Através do teste de Mann-Kendall pode-se verificar se existe ou não tendência temporal dos índices de extremos climáticos, para o período de estudo. Segundo Sneyers (1975), considera-se que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores que ocorrem de forma independente, e a distribuição de probabilidade devem permanecer sempre a mesma (série aleatória simples), sendo assim, testa-se as hipóteses H_0 : As observações da série são independentes e identicamente distribuídas, H_1 : As observações da série possuem tendência monotônica no tempo. A estatística S do teste de Mann-Kendall pode ser calculada de acordo com a Equação (1):

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sign}(x_j - x_k) \quad (1)$$

O sinal pode ser obtido por meio das Equações (2), (3) e (4):

$$\text{sign}(x_j - x_k) = 1 \quad \text{se} \quad x_j - x_k > 0 \quad (2)$$

$$\text{sign}(x_j - x_k) = 0 \quad \text{se} \quad x_j - x_k = 0 \quad (3)$$

$$\text{sign}(x_j - x_k) = -1 \quad \text{se} \quad x_j - x_k < 0 \quad (4)$$

A estatística S aproxima-se da normalidade à medida que n cresce, com média e variância definidas por:

$$E(S) = 0 \quad (5)$$

$$Var(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(i)(i-1)(2i+5)}{18} \quad (6)$$

O teste estatístico $Z(t)$, utilizado para calcular a tendência de uma série temporal, foi obtido por meio da Equação (7).

$$Z(t) = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}}, & se, \quad S > 0 \\ 0, & se, \quad S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}}, & se, \quad S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

A hipótese nula de ausência de tendência, H_0 , é rejeitada sempre que $|Z(t)| > Z_{\alpha/2}$ em que α é o nível de significância adotado e $Z_{\alpha/2}$ é a variável normal reduzida da função de distribuição normal padrão, para valores de $(Z(t) > 0)$ tendências crescentes, para valores de $(Z(t) < 0)$ tendências decrescentes (Santos e Portela, 2008).

b) Teste de Sen-Slope

A partir do valor da série, pode-se calcular a magnitude da tendência, para tal, foi utilizado o teste não paramétrico de Sen-Slope (Sen, 1968). Este teste fornece uma estimativa da inclinação (T_i) de uma alteração na medição por mudança de tempo, conforme apresentado na Equação (8):

$$T_i = \frac{x_j - x_k}{j - k}, \quad \text{para } i = 1, 2, 3, \dots, N, \quad (8)$$

onde T_i = inclinação entre os pontos dos dados x_j e x_k ; x_j = medição dos dados em relação ao tempo j ; x_k = medição dos dados em relação ao tempo k ; j = tempo após o tempo k .

A mediana destes N valores de T_i é representado como o estimador Sen-Slope, que é dado como:

$$T_{med} = \begin{cases} T_{\frac{N+1}{2}}, & N \text{ é ímpar} \\ \frac{1}{2} \left(T_{\frac{N}{2}} + T_{\frac{N+2}{2}} \right), & N \text{ é par} \end{cases} \quad (9)$$

O estimador de Sen-Slope é descrito como $T_{med} = T(N+1)/2$, se N for par, caso ele seja ímpar é considerado como $T_{med} = \left[T_{N/2} + T_{(N+2)/2} \right] / 2$. Por fim, T_{med} foi calculado por um teste de dois lados em $100(1-\alpha)\%$ de intervalo de confiança e, em seguida, a inclinação foi obtida através do teste não paramétrico. Valores positivos de T_{med} indicam tendência crescente ou ascendente, e um valor negativo de T_{med} nos dá tendência decrescente ou descendente da série histórica. A hipótese nula (H_0) indica que não existe inclinação ao longo do tempo e, a hipótese alternativa (H_1) é que existe uma inclinação crescente ou decrescente na série.

c) Teste de Pettitt

O teste de Pettitt foi utilizado com o intuito de localizar uma mudança brusca na média da série de dados. Este teste consiste em verificar se duas amostras x_1, \dots, x_t e x_{t+1}, \dots, x_T são da mesma população. De acordo com Pettitt (1979), a estatística $U_{t,T}$ pode ser calculada usando a seguinte equação:

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(X_t - X_j), \quad (10)$$

para $t = 2, \dots, N$, em que, $\text{sgn}(x) = \begin{cases} 1, & \text{se } x > 0 \\ 0, & \text{se } x = 0 \\ -1, & \text{se } x < 0 \end{cases}$

Quando não há laços nos dados, $V_{t,T} = T+1-2R_t$, onde R_t é a ordem de x_t na amostra. A estatística k_t fornece o ponto onde ocorre uma mudança brusca na média da série de dados:

$$k_t = \text{MAX}_{1 \leq t \leq T} |U_{t,T}| \quad (11)$$

Sendo sua significância calculada pela equação:

$$p \approx 2 \exp\{-6k_r^2 / (T^3 + T^2)\} \quad (12)$$

A hipótese nula (H_0) indica nenhuma mudança brusca ao longo do tempo e, a hipótese alternativa (H_1) é que existe mudança brusca na série temporal.

d) **Correlação de Spearman**

Com o intuito de analisar o comportamento dos índices de extremos climáticos, na região da UHS, e a relação de dependência destes índices com as anomalias de TSM dos Oceanos Pacífico Equatorial e Atlântico Tropical, foi utilizado o método de Spearman na obtenção da correlação entre as anomalias de TSM e os índices de extremos climáticos.

A correlação de Spearman é uma estatística baseada em postos e foi introduzida por Spearman em 1904 e exige, apenas, que as variáveis X e Y sejam medidas pelo menos em escala ordinal. No caso de variáveis quantitativas, a correlação entre X e Y pode ser calculada da mesma forma que o coeficiente de Pearson, mas substituindo os valores das duas variáveis pelos seus postos (Bauer, 2007).

Utiliza-se esta correlação em detrimento aos testes utilizados, por serem testes não-paramétricos. Deste modo, este coeficiente não é sensível a assimetrias na distribuição, nem à presença de outliers, não exigindo, portanto, que os dados provenham de duas populações normais. A hipótese nula (H_0) é que $\rho = 0$ e, a hipótese alternativa (H_1) é que $\rho \neq 0$. O coeficiente de correlação de Spearman foi obtido através da seguinte expressão:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2-1)}, \quad (13)$$

em que: ρ é o coeficiente de correlação de Spearman; d_i é a diferença entre as ordenações; n é o número de pares de ordenações.

Para amostras maiores que 20 observações, pode-se utilizar a seguinte aproximação para a distribuição t de Student:

$$t = \frac{\rho}{\sqrt{(1-\rho^2)(n-2)}}, \quad (14)$$

em que a distribuição t apresenta $n - 2$ graus de liberdade.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Índices de extremos climáticos

Foram obtidas as tendências dos 22 índices de extremos climáticos para as estações de Bebedouro-PE e Mandacaru-BA. As Tabelas 2 e 3 apresentam os valores das tendências dependentes da temperatura do ar e da precipitação pluvial, respectivamente, para as duas estações, baseados nos resultados dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall e Sen-Slope. Os valores em negrito e realçados em cinza apresentaram significância estatística ao nível de 1% ($p < 0,01$) e os valores apenas realçados em cinza apresentaram significância estatística ao nível de 5% ($p < 0,05$).

A vantagem de se utilizar estes testes é que eles filtram os valores extremos da série de dados. Nas Tabelas 2 e 3, o resultado do teste de Mann-Kendall é apresentado com os valores da estatística S , do valor p e do teste estatístico $Z(t)$. Os valores da inclinação (T_i) da série temporal obtidos através do teste de Sen-Slope também estão apresentados nestas duas tabelas, bem como, o valor do teste estatístico $K(t)$, seu valor p e o ano de possível mudança brusca na série temporal, calculados por meio do teste de Pettitt.

Observando a Tabela 2, nota-se que todos os índices, dependentes da temperatura do ar, para a estação de Bebedouro-PE, apresentaram resultados com significância estatística. Destes, os índices SU, TR, TXx, TXn, TNx, TX10p, TX90p, TN10p, TN90p, apresentaram significância estatística ao nível de 1% e, TNn e DTR ao nível de 5%. Para os índices dependentes da precipitação, 5 destes apresentaram resultados significativos, sendo SDII, R10mm, R20mm e PRCPTOT com $p < 0,01$ e, R95p com $p < 0,05$.

A estação de Mandacaru-BA (Tabela 3) apresentou resultados significativos em 10 dos 11 índices obtidos, dependentes da temperatura, sendo, os índices SU, TR, TXx,

TXn, TNn, TX10p, TX90p, TN10p e DTR com $p < 0,01$ e, TN90p com $p < 0,05$. Os índices dependentes da precipitação para esta estação não apresentaram significância estatística.

Tabela 2: Resultado dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Sen-Slope e Pettitt para a estação de Bebedouro-PE, para os índices dependentes da temperatura do ar e precipitação pluvial, no período de 1966-2014.

Índices	Mann-Kendall			Sen-Slope	Pettitt		Ano
	S	Valor p	Z (t)	Ti	K (t)	Valor p	
SU (Dias)	298	0,008	2,6	0,038	251	0,085	1978
TR (Dias)	397	<0,001	3,4	1,500	304	0,019	1981
TXx (°C)	290	0,011	2,5	0,019	271	0,050	1993
TXn (°C)	349	0,002	3	0,033	293	0,027	1992
TNx (°C)	352	0,002	3	0,028	245	0,099	1990
TNn (°C)	270	0,020	2,3	0,023	214	0,200	1997
TX10p (Dias)	-570	<0,001	-4,9	-0,416	472	<0,001	1992
TX90p (Dias)	606	<0,001	5,2	0,372	456	<0,001	1992
TN10p (Dias)	-460	<0,001	-4	-0,390	346	0,005	1981
TN90p (Dias)	436	<0,001	3,7	0,354	308	0,017	1993
DTR (°C)	245	0,035	2,1	0,013	321	0,011	1989
RX1day (mm)	-162	0,165	-1,4	-0,408	196	0,293	1984
RX5day (mm)	-194	0,096	-1,7	-0,669	208	0,230	1985
SDII (mm)	-290	0,012	-2,5	-0,053	240	0,112	1984
R10mm (Dias)	-284	0,014	-2,4	-0,142	206	0,239	1997
R20mm (Dias)	-278	0,016	-2,4	-0,097	237	0,120	1985
R30mm (Dias)	-131	0,245	-0,11	0	181	0,389	1984
CDD (Dias)	1	1	0	0	113	-	-
CWD (Dias)	-183	0,108	-1,6	0	178	0,410	1992
R95p (mm)	-240	0,039	-0,2	-1,953	218	0,186	1984
R99p (mm)	-147	0,270	-0,12	0	198	0,281	1984
PRCPTOT (mm)	-302	0,009	-2,6	-5,560	238	0,117	1985

Os resultados obtidos das tendências de temperatura do ar para a estação de Bebedouro-PE (Tabela 2), mostram tendência de aumento em 9 dos 11 índices. O índice dias quentes (SU) (Figura 4a) apresenta uma tendência de aumento de 0,038 dias/ano, ou seja, mantendo-se a tendência, em 100 anos teremos, aproximadamente, 4 dias a mais com temperaturas máximas diárias superiores à 25 °C. Houve, também, um aumento, na frequência em que ocorrem noites quentes (TR) (Figura 4b) na estação de Bebedouro-PE, sendo a tendência deste índice de 1,5 dias/ano. Indicando que em 30 anos, por exemplo,

poderá ocorrer um aumento de 45 noites, em um ano, em que a temperatura será maior que 20°C.

Os índices máxima temperatura máxima (TXx) (Figura 4c), mínima temperatura máxima (TXn) (Figura 4d), máxima temperatura mínima (TNx) (Figura 4e) e mínima temperatura mínima (TNn) (Figura 4f) apresentaram valores de tendência de 0,019; 0,033; 0,028 e, 0,023 °C/ano, respectivamente. Esses resultados indicam tendência de aumento tanto para a temperatura máxima quanto para a temperatura mínima na estação de Bebedouro-PE.

É possível notar um aumento gradual nas temperaturas máximas e mínimas durante as últimas décadas, e isso pode ser observado mais facilmente, através das distribuições temporais desses índices. Esses resultados concordam, em parte, com os resultados encontrados por Tao et al. (2014), onde se observou um aumento nos índices relacionados à temperatura mínima, na região do lago Poyang, China. Concordam, ainda, com Nandintsetseg et al. (2007), que encontraram tendências de aumento nas temperaturas médias máximas e mínimas, e também, na frequência de noites quentes, na área do Lago Hovsgol, na Mongólia.

Com o aumento das temperaturas máximas e mínimas, bem como, com o aumento de dias e noites quentes, espera-se, a diminuição de dias e noites frias. E esta afirmativa pode ser identificada nos valores das tendências dos índices dias frios (TX10p) (Figura 4g) e noites frias (TN10p) (Figura 4i), onde estes índices apresentam redução de 0,416 e de 0,390 dias/ano, respectivamente.

Os índices dias quentes (TX90p) (Figura 4h) e noites quentes (TN90p) (Figura 4k) concordam com os índices SU e TR, citados anteriormente, e indicam, também, aumento nos dias e noites quentes, onde, os valores das tendências são 0,372 e 0,354 dias/ano,

respectivamente. A amplitude térmica (DTR) (Figura 4l) está aumentando com uma tendência de 0,016 °C/ano.

O aumento nas temperaturas máximas e mínimas na região de estudo, corrobora com as projeções do IPCC (2013) que tem identificado que as temperaturas mínimas têm aumentado mais rápido do que as máximas. O aumento na quantidade de noites quentes e diminuição de noites frias concorda com os resultados encontrados por Vincent et al. (2005), que observaram um aumento nas noites quentes e uma diminuição das noites frias na América do Sul.

Os resultados obtidos das tendências de precipitação pluvial para a estação de Bebedouro-PE (Tabela 2) apresentaram diminuição desta variável em 7 índices, sendo que, dos 11 índices estudados, 5 apresentam valores significativos, sendo, os índices SDII, R10mm, R20mm e PRCPTOT com $p < 0,01$ e, o índice R95p com $p < 0,05$.

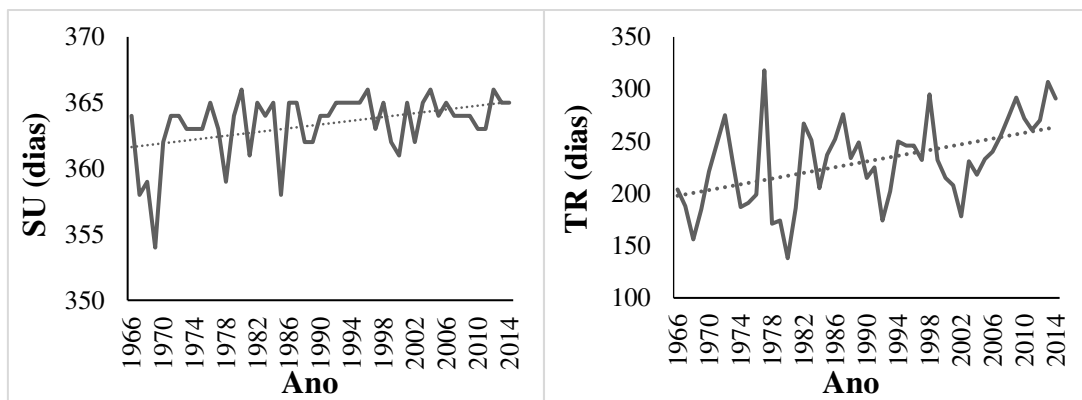
Analisando os índices com significância estatística para a estação de Bebedouro-PE (Tabela 2), nota-se, uma diminuição na quantidade de dias em que a precipitação foi igual ou superior a 10 mm (R10mm) (Figura 5a) e 20 mm (R20mm) (Figura 5b), sendo os valores dessas tendências de 0,142 e 0,097 dias/ano, respectivamente. A precipitação total anual (PRCPTOT) (Figura 5c) está diminuindo 5,560 mm/ano, fazendo-se uma projeção, em 30 anos, a precipitação total diminuiria aproximadamente 170 mm/ano.

O índice SDII (Figura 5d), que é a razão entre precipitação total anual e o número de dias com precipitação em um ano, concorda com os índices citados anteriormente e, também, apresenta diminuição, com um valor de 0,053 mm/ano. Portanto, observa-se que a diminuição nas precipitações maiores ou iguais à 10mm e 20mm concorda com a diminuição da precipitação total, bem como, com a diminuição do índice de intensidade diária simples (SDII). O índice dias muito úmidos (R95p) (Figura 5e) também apresenta

tendência de redução para Bebedouro, com um valor de 1,953 mm/ano, o que pode acarretar em uma redução de aproximadamente 60mm em 30 anos.

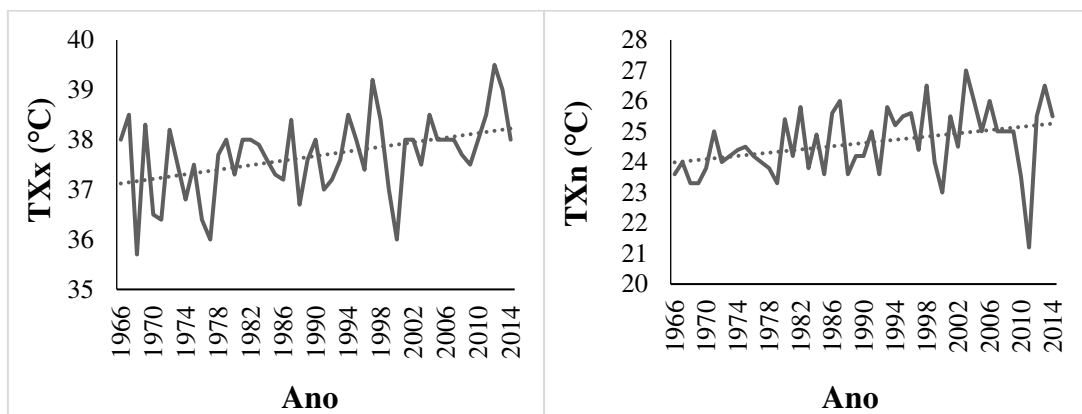
O primeiro relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), projeta uma diminuição significativa das chuvas em grande parte das regiões Centro, Norte e Nordeste do Brasil, sendo que, essas mudanças poderão se acentuar a partir da metade e final do século XXI, concordando com o relatório especial de eventos extremos climáticos do IPCC (2012), que projeta uma maior frequência de períodos secos, mais intensos e longos, para o Nordeste e para a Amazônia, podendo originar secas sazonais. Sendo assim, os resultados estaticamente significativos para a estação de Bebedouro-PE concordam entre si, e concordam com as projeções do IPCC e do PBMC, indicando uma diminuição na precipitação para esta região.

Por meio do teste de Pettitt foi possível obter o ponto em que ocorreu a mudança brusca na série temporal. Observando a Tabela 2, verifica-se que apenas os índices baseados na temperatura do ar são significativos ao nível de 1%, sendo estes, TR, TX10p, TX90p, TN10p, TN90p e, DTR e, os índices TXx e TXn, ao nível de 5%. Para o índice noites quentes (TR), o ano que houve uma possível mudança brusca na série de dados, foi 1981. Identificou-se, através dos resultados das tendências, por exemplo, que o ano de 1980 teve 138 noites quentes, passando para 186 noites quentes no ano de 1981.



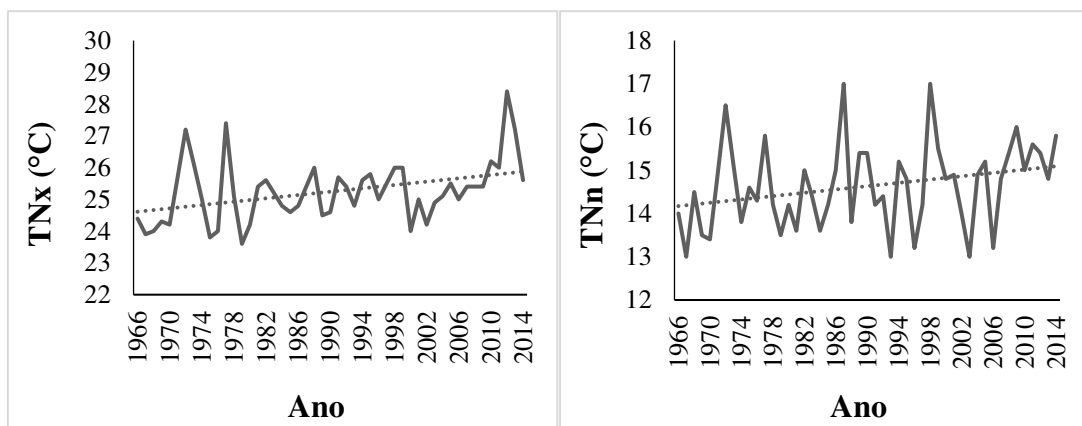
a)

b)



c)

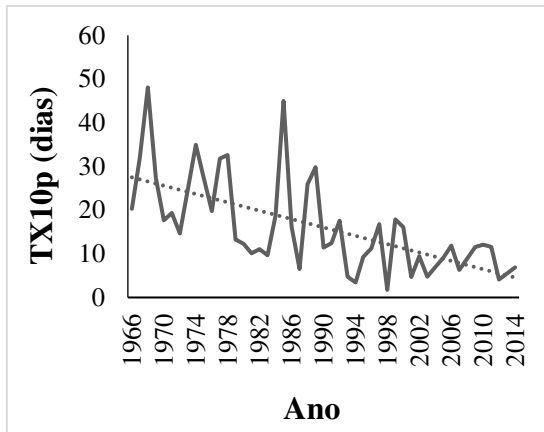
d)



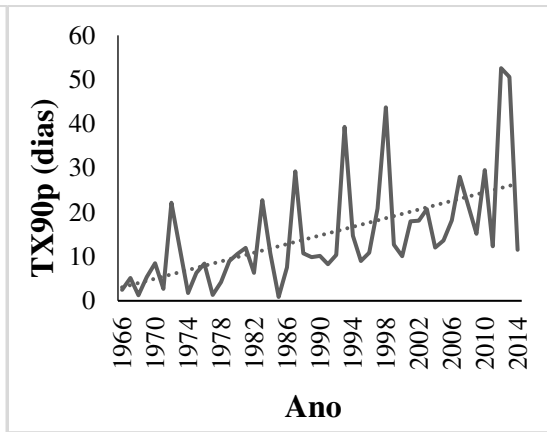
e)

f)

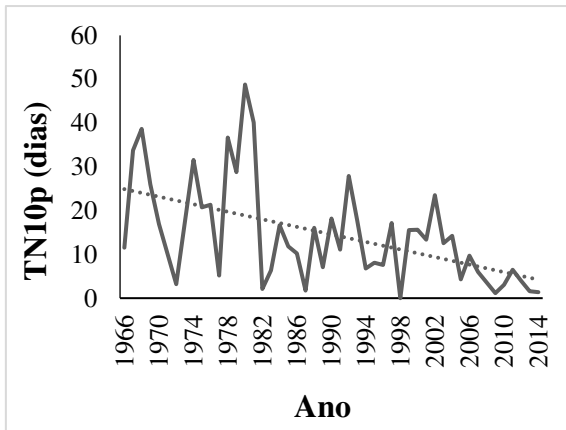
Figura 4: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura do ar, estatisticamente significativos, para a estação de Bebedouro-PE, para o período de 1966 à 2014, onde: a) SU, b) TR, c) TXx, d) TXn, e) TNx, f) TNn, g) TX10p, h) TX90p, i) TN10p, j) TN90p e, k) DTR.



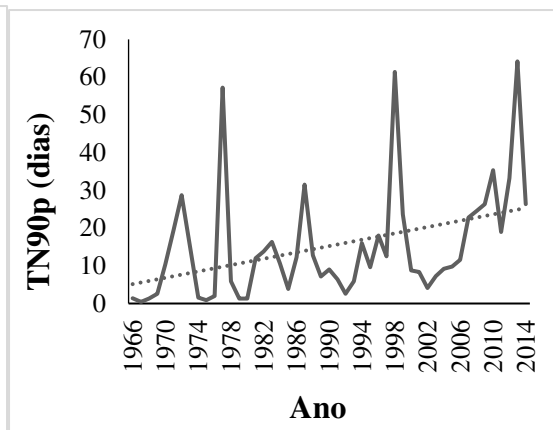
g)



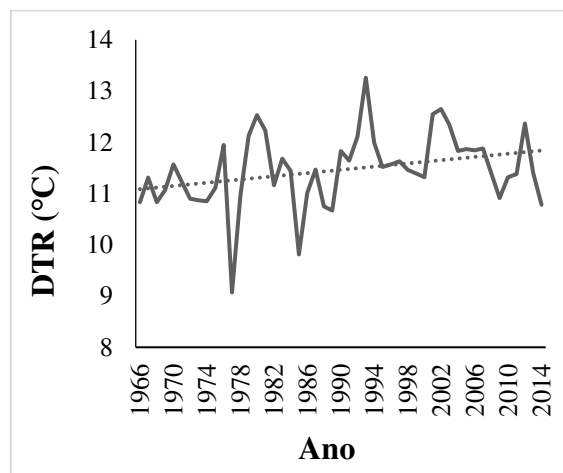
h)



i)

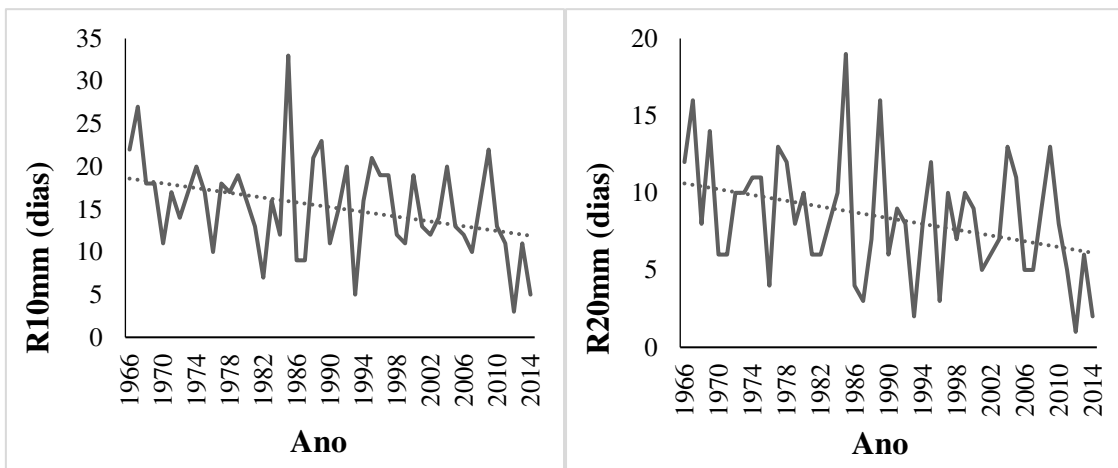


j)



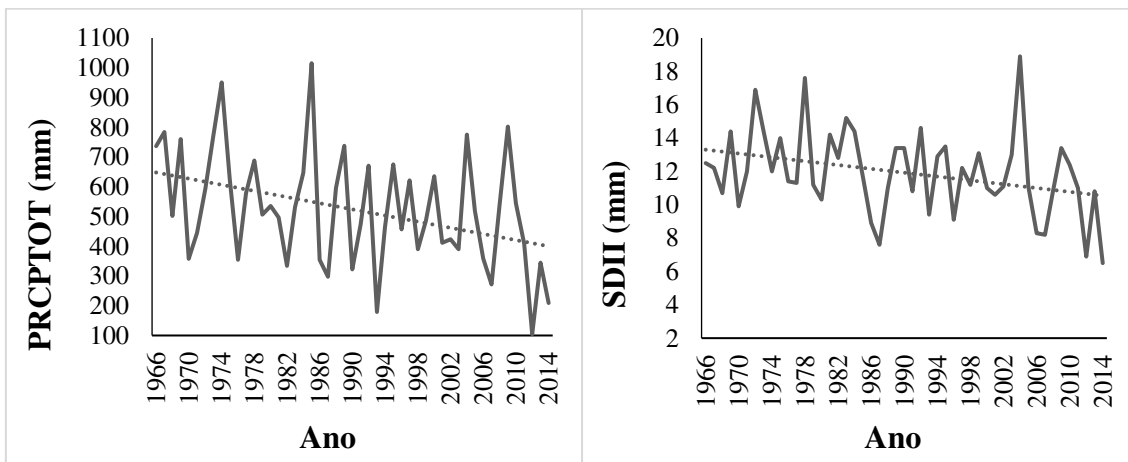
k)

Figura 4: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura do ar, estatisticamente significativos, para a estação de Bebedouro-PE, para o período de 1966 à 2014, onde: a) SU, b) TR, c) TXx, d) TXn, e) TNx, f) TNn, g) TX10p, h) TX90p, i) TN10p, j) TN90p e, k) DTR.



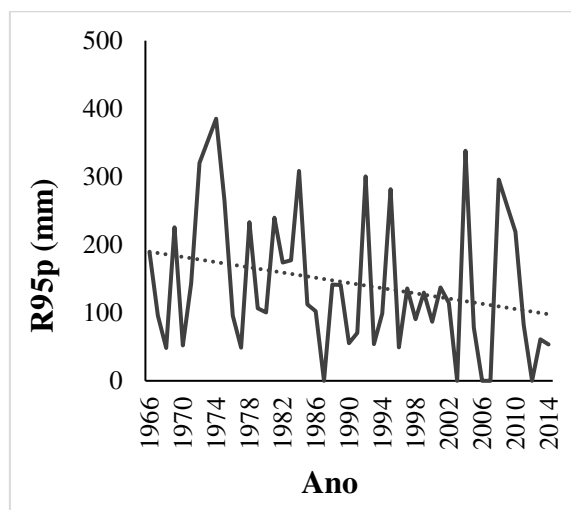
a)

b)



c)

d)



e)

Figura 5: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da precipitação pluvial, estatisticamente significativos, para a estação de Bebedouro-PE, para o período de 1966 à 2014, onde: a) R10mm, b) R20mm, c) PRCPTOT, d) SDII e, e) R95p.

Os resultados obtidos das tendências de temperatura do ar para a estação de Mandacaru-BA (Tabela 3), apresentaram significância estatística em 10 dos 11 índices obtidos, sendo, os índices SU, TR, TXx, TXn, TNn, TX10p, TX90p, TN10p e DTR com $p < 0,01$ e, TN90p com $p < 0,05$. Os índices dependentes da precipitação para esta estação não apresentaram resultados significativos.

O teste de Sen-Slope tem a finalidade de obter a magnitude da tendência na série histórica. Nas Tabelas 2 e 3, observam-se os valores da inclinação (T_i) da série de dados. Valores positivos indicam tendência crescente e valores negativos fornecem a tendência decrescente da série histórica.

O índice dias quentes (SU) (Figura 6a), assim como para a estação de Bebedouro-PE, apresentou tendência de aumento, com valor de 0,100 dias/ano. Porém, para as noites quentes (TR) (Figura 6b), diferentemente dos resultados obtidos para Bebedouro-PE, verifica-se tendência de diminuição com um valor 1,372 dias/ano. Este último, indicando que em 30 anos, por exemplo, poderá ocorrer uma diminuição de cerca de 41 noites quentes, em um ano, em que a temperatura seja maior que 20 °C.

Os índices referentes a temperatura máxima indicam tendência de aumento nesta variável. A máxima temperatura máxima (TXx) (Figura 6c) e a mínima temperatura máxima (TXn) (Figura 6d) estão aumentando 0,033 e 0,047 °C/ano, respectivamente. Sendo que a mínima temperatura máxima (TXn) está aumentando mais rapidamente. A mínima temperatura mínima (TNn) (Figura 6e) apresenta uma redução de 0,040 °C/ano, respectivamente.

Os índices dias frios (TX10p) (Figura 6f), dias quentes (TX90p) (Figura 6g), noites frias (TN10p) (Figura 6h) e, noites quentes (TN90p) (Figura 6i) apresentam valores de tendência de -0,403, 0,530, 0,317 e, -0,145 dias/ano, respectivamente. O índice TN90p, concorda com o resultado obtido para o índice TR, ambos indicando uma diminuição nas

noites quentes na região da estação de Mandacaru. Também há uma tendência de diminuição dos dias frios, como mostra o valor da tendência do índice TX10p. A amplitude térmica (DTR) (Figura 6j) está aumentando 0,06 °C/ano.

Tabela 3: Resultados dos testes não-paramétricos de Mann-Kendall, Sen-Slope e Pettitt para a estação de Mandacaru-BA, para os índices dependentes da temperatura do ar e precipitação pluvial, no período de 1966-2014.

Índices	Mann-Kendall			Sen-Slope	Pettitt		Ano
	S	Valor p	Z (t)	Ti	K (t)	Valor p	
SU (Dias)	472	<0,001	4,1	0,100	377	0,001	1981
TR (Dias)	-279	0,016	-2,4	-1,372	369	0,002	1999
TXx (°C)	413	<0,001	3,6	0,033	410	<0,001	1995
TXn (°C)	388	<0,001	3,3	0,047	327	0,009	1979
TNx (°C)	-19	0,876	-0,2	0	180	0,396	1999
TNn (°C)	-407	<0,001	-3,5	-0,040	405	<0,001	1998
TX10p (Dias)	-596	<0,001	-5,1	-0,403	468	<0,001	1992
TX90p (Dias)	628	<0,001	5,4	0,530	518	<0,001	1995
TN10p (Dias)	292	0,012	2,5	0,317	375	0,001	1999
TN90p (Dias)	-221	0,057	-1,9	-0,145	388	0,001	1998
DTR (°C)	618	<0,001	5,3	0,060	544	<0,001	1996
RX1day (mm)	-44	0,710	-0,4	-0,096	148	0,669	1992
RX5day (mm)	-36	0,762	-0,3	-0,133	196	0,293	1992
SDII (mm)	39	0,743	0,3	0,018	149	0,659	1971
R10mm (Dias)	-72	0,538	-0,6	0	118	0,997	1981
R20mm (Dias)	-64	0,584	-0,5	0	150	0,649	1980
R30mm (Dias)	-163	0,151	-1,4	0	208	0,230	1981
CDD (Dias)	17	0,890	0,1	0,083	162	0,538	1977
CWD (Dias)	30	0,797	0,3	0	113	-	-
R95p (mm)	-97	0,406	-0,8	-0,787	169	0,479	1981
R99p (mm)	75	0,433	0,8	0	150	0,649	1975
PRCPTOT (mm)	-97	0,407	-0,8	-1,722	160	0,556	1980

Os resultados obtidos das tendências de precipitação pluvial para a estação de Mandacaru-BA (Tabela 3) não apresentaram significância estatística para nenhum índice, no entanto, de maneira geral, é possível observar um sinal de diminuição nas tendências obtidas, assim como em Bebedouro. Dos 11 índices, dependentes da precipitação pluvial, 7 apresentam tendência de diminuição da precipitação, porém, como citado

anteriormente, sem significância estatística. Portanto, não é seguro afirmar que estas tendências estejam realmente acontecendo.

A precipitação é uma variável determinante das condições climáticas no semiárido brasileiro, e a análise de seu comportamento é de grande importância, devido à grande irregularidade apresentada em escala temporal e espacial, não somente sob o enfoque climático, mas também, pelas consequências no setor socioeconômico, como também, no bem-estar da população.

A grande variabilidade espacial e temporal da precipitação justifica o fato de poucos índices apresentarem valores significativos na estação de Bebedouro-PE e, nenhum índice na estação de Mandacaru-BA. Os resultados das tendências de precipitação para as duas estações utilizadas neste estudo indicam, de maneira geral, uma diminuição nos valores dessa variável na região da UHS, porém, poucos índices apresentaram resultados significativos.

O teste de Pettitt apresenta resultados significativos ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) para os mesmos índices que o teste de Mann-Kendall apresentou. Diferentemente de Bebedouro-PE, a quantidade de noites quentes (TR) em Mandacaru diminuiu, passando de 274 em 1998 para 235 em 1999, sendo este o possível ano de mudança brusca na série de dados, para este índice.

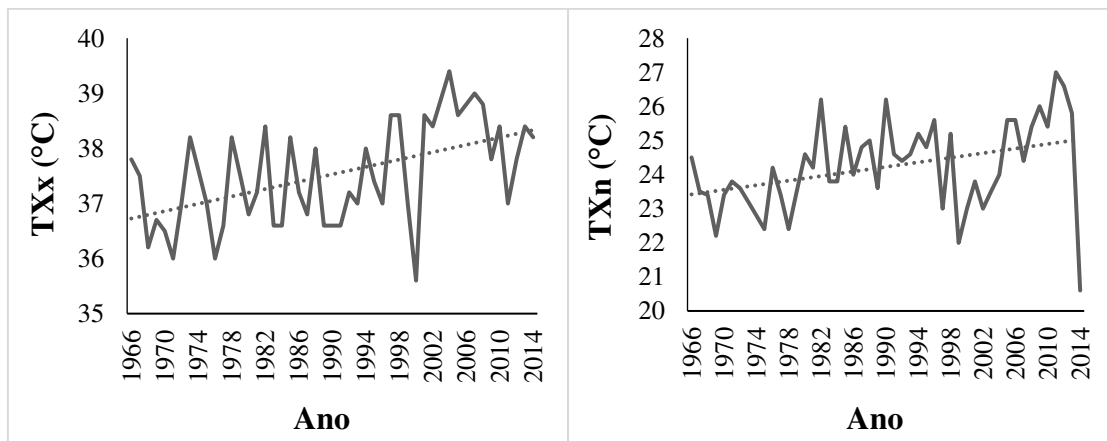
Durante o desenvolvimento deste estudo, dividiu-se o período de estudo em dois: período pré-enchimento do lago da UHS (1966 - 1978) e período pós-enchimento do lago (1979 - 2014), e foram obtidas todas as tendências e testes citados anteriormente, para esses dois períodos separadamente, além, das tendências e testes para o período completo (1966 - 2014), que estão apresentados nos resultados desta pesquisa.

A ideia era estudar não apenas o período completo, mas, também, o período separado, para se verificar as diferenças entre as tendências, bem como, entre os resultados dos testes. Os resultados para os períodos pré e pós-enchimento não estão apresentados neste trabalho, pois alguns resultados dos testes para o período pré-enchimento apresentaram valor p maior que 1. Esse resultado se deve, possivelmente, a curta série de dados para este período.



a)

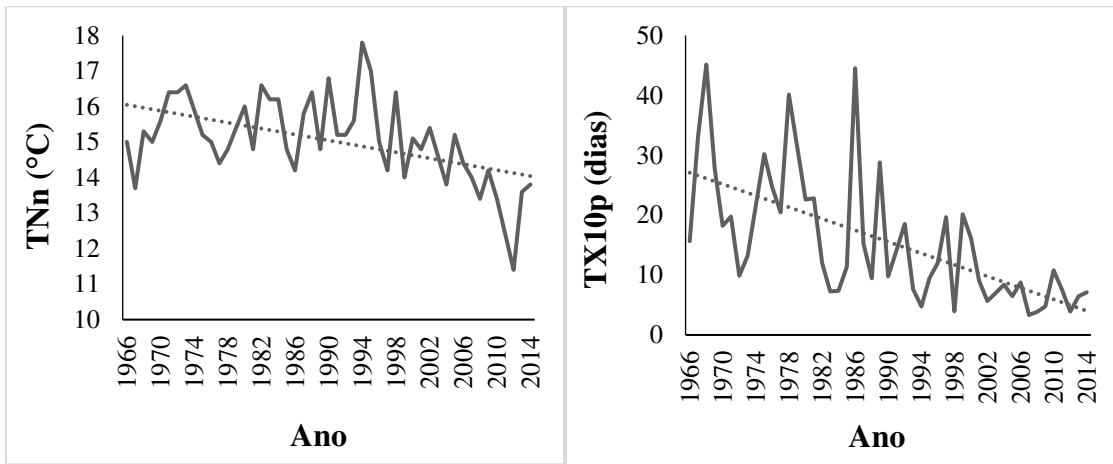
b)



c)

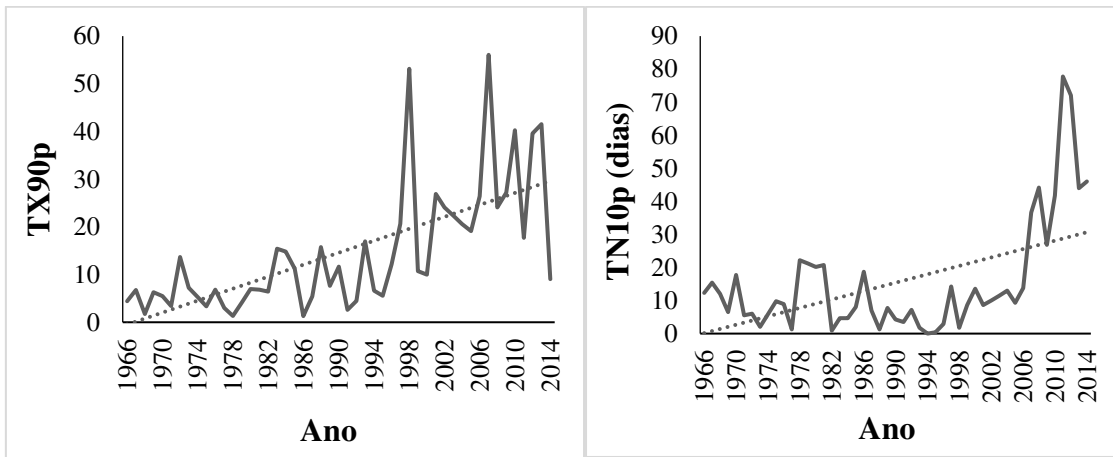
d)

Figura 6: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura do ar, estatisticamente significativos, para a estação de Mandacaru-BA, para o período de 1966 à 2014, onde: a) SU, b) TR, c) TXx, d) TXn, e) TNn, f) TX10p, g) TX90p, h) TN10p, i) TN90p e, j) DTR.



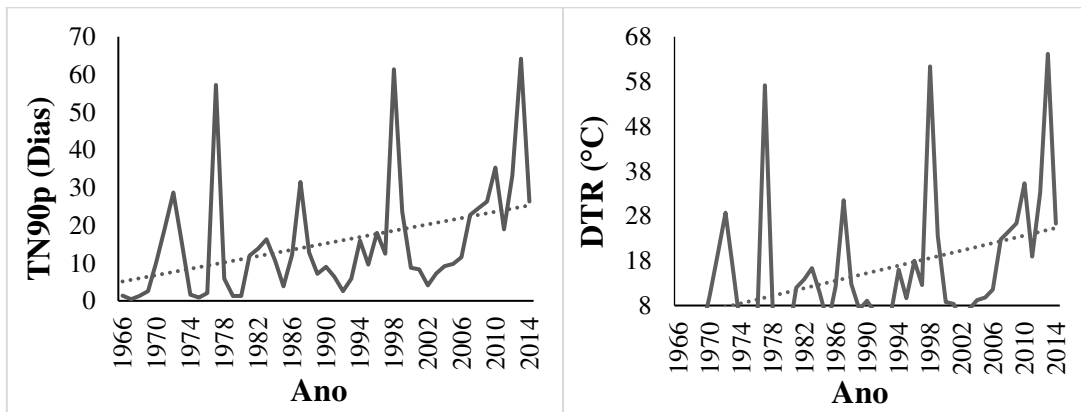
e)

f)



g)

h)



i)

j)

Figura 6: Variabilidade anual dos índices de extremos climáticos dependentes da temperatura do ar, estatisticamente significativos, para a estação de Mandacaru-BA, para o período de 1966 à 2014, onde: a) SU, b) TR, c) TXx, d) TXn, e) TNn, f) TX10p, g) TX90p, h) TN10p, i) TN90p e, j) DTR.

As tendências de extremos climáticos de temperatura para Bebedouro-PE apresentaram um aumento nas temperaturas máximas e mínimas, quantidade de dias e noites quentes, amplitude térmica diária e, conseqüentemente uma redução nos dias e noites frias. Já para Mandacaru-BA, as tendências de temperatura apresentaram alguns resultados contrários à Bebedouro. As noites quentes estão diminuindo em Mandacaru, bem como, a mínima temperatura mínima, já os dias quentes estão aumentando. Os resultados para as duas estações concordam na tendência de aumento para a temperatura máxima, quantidade de dias quentes e, para a amplitude térmica, o que levou à diminuição dos dias frios.

5.2. Índices de extremos climáticos e TSM

Os índices de extremos climáticos foram correlacionados individualmente com as anomalias de TSM das regiões dos Oceanos Pacífico Equatorial (Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4) (Figura 2) e, Atlântico Tropical Norte (TNAI) e Atlântico Tropical Sul (TSAI) (Figura 3). As correlações, com $p < 0,05$ e $p < 0,01$, estão apresentadas nas Tabelas 4, 5, 6 e 7. Os valores em negrito realçados em cinza apresentaram significância estatística ao nível de 1% e, os valores realçados em cinza apresentaram significância estatística ao nível de 5%.

A Tabela 4 apresenta as correlações entre as tendências dos índices de extremos climáticos, para a estação de Bebedouro-PE e as regiões do Pacífico Equatorial. Dos 11 índices, dependentes da temperatura do ar, 5 apresentam correlações positivas variando entre 5% e 1%. Indicando, de maneira geral, que quando ocorre um aumento da TSM no Pacífico há uma tendência de aumento da temperatura do ar em Bebedouro.

O índice SU apresenta correlações positivas, com $p < 0,01$, para as quatro regiões de TSM no Oceano Pacífico, indicando que um aumento nas TSM dessas regiões, implica em um aumento na quantidade de dias quentes, na região da UHS. O índice TXx apresenta correlações significativas ($p < 0,01$) com as regiões Niño 3, Niño 3.4 e, Niño 4, indicando que um aumento nas TSM dessas regiões, causaria um aumento na máxima temperatura máxima diária.

A mínima temperatura máxima diária (TXn) apresenta correlações significativas, com $p < 0,01$, com a região Niño 1+2 e, com $p < 0,05$ com as demais regiões. Identificando-se, também, um aumento nesse índice à medida que a TSM nessas regiões aumenta.

A correlação positiva entre o índice TX90p e as regiões Niño 1+2 e Niño 3, indica um aumento nos dias quentes, quando a TSM dessas regiões aumenta. Concordando com os resultados das correlações para o índice SU.

Um aumento nos dias quentes e na temperatura máxima a medida que a TSM se torna mais quente, também concorda com o resultado das correlações entre as 4 regiões do Pacífico e a amplitude térmica (DTR). Este índice apresenta correlação positiva significativa ($p < 0,01$) com as regiões Niño 3 e 3.4 e, com $p < 0,05$, com a região Niño 1+2. Indicando que um aumento na TSM dessas 3 regiões, implicaria em um aumento da amplitude térmica diária.

Tabela 4: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Pacífico Equatorial, para a estação de Bebedouro – PE, no período de 1966 – 2014.

Índices/Regiões	Niño 1+2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4
SU (Dias)	0,424	0,432	0,399	0,382
TR (Dias)	0,248	0,223	0,087	0,058
TXx (°C)	0,278	0,437	0,383	0,400
TXn (°C)	0,382	0,340	0,310	0,356
TNx (°C)	0,196	0,188	0,093	0,078
TNn (°C)	0,262	0,194	0,060	0,025
TX10p (Dias)	-0,466	-0,505	-0,406	-0,454
TX90p (Dias)	0,491	0,444	0,281	0,262
TN10p (Dias)	-0,300	-0,312	-0,180	-0,167
TN90p (Dias)	0,245	0,198	0,052	0,016
DTR (°C)	0,333	0,369	0,370	0,391
RX1day (mm)	-0,064	-0,155	-0,145	-0,200
RX5day (mm)	-0,085	-0,091	-0,080	-0,160
SDII (mm)	0,020	0,000	0,042	-0,053
R10mm (Dias)	-0,340	-0,266	-0,183	-0,149
R20mm (Dias)	-0,236	-0,188	-0,105	-0,111
R30mm (Dias)	0,100	-0,017	-0,034	-0,126
CDD (Dias)	0,302	0,371	0,398	0,381
CWD (Dias)	-0,159	-0,116	-0,016	-0,031
R95p (mm)	-0,004	-0,120	-0,144	-0,242
R99p (mm)	-0,131	-0,224	-0,231	-0,277
PRCPTOT (mm)	-0,267	-0,273	-0,219	-0,233

Para os índices dependentes da precipitação pluvial, apenas CDD, apresentou correlação significativa. Para as regiões Niño 3, Niño 3.4 e Niño 4, significativo ao nível de 1% e, para Niño 1+2, 5%. O que concorda com os resultados citados acima, um

aumento nos dias quentes e na temperatura máxima concorda com um aumento nos dias consecutivos secos, a medida que a TSM no Oceano Pacífico aumenta.

A Tabela 5 apresenta as correlações entre as tendências dos índices de extremos climáticos, dependentes da temperatura do ar e precipitação, para a estação de Bebedouro - PE e as regiões do Atlântico Tropical. Dos 11 índices que dependem da temperatura, 5 apresentam correlações positivas variando entre $p < 0,01$ e $p < 0,05$.

O índice noites quentes (TR) apresenta correlação positiva com a região TSAI, indicando que quando a TSM aumenta nessa região do Atlântico, a quantidade de noites quentes aumenta. A máxima temperatura máxima diária apresenta correlação positiva com a região TNAI, o que implica, também, em um aumento na temperatura máxima para a região da estação de Bebedouro - PE.

Os índices dias e noites quentes, TN90p e TX90p, respectivamente, apresentam correlação positiva com a região TSAI, indicando um aumento na porcentagem de dias e noites quentes, caso ocorra um aumento na temperatura dessa região no Oceano Atlântico. A amplitude térmica (DTR) se correlacionou positivamente com a região TNAI. Os índices dependentes da precipitação pluvial não apresentaram significância estatística com as regiões de TSM no Oceano Atlântico.

Tabela 5: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Atlântico Tropical, para a estação de Bebedouro – PE, no período de 1966 – 2014.

Índices/Regiões	TNAI	TSAI
SU (Dias)	0,159	0,062
TR (Dias)	0,173	0,385
TXx (°C)	0,522	0,024
TXn (°C)	0,184	0,193
TNx (°C)	0,181	0,258
TNn (°C)	0,031	0,195
TX10p (Dias)	-0,489	-0,190
TX90p (Dias)	0,519	0,386
TN10p (Dias)	-0,254	-0,374
TN90p (Dias)	0,274	0,384
DTR (°C)	0,339	-0,210
RX1day (mm)	-0,230	-0,070
RX5day (mm)	-0,136	-0,018
SDII (mm)	-0,201	-0,116
R10mm (Dias)	-0,138	0,018
R20mm (Dias)	-0,121	-0,014
R30mm (Dias)	-0,180	0,031
CDD (Dias)	0,099	-0,117
CWD (Dias)	-0,027	-0,192
R95p (mm)	-0,243	0,063
R99p (mm)	-0,104	-0,022
PRCPTOT (mm)	-0,175	0,082

A Tabela 6 apresenta as correlações entre as tendências dos índices de extremos climáticos, para a estação de Mandacaru-BA e as regiões do Pacífico Equatorial. Dos 11 índices, dependentes da temperatura do ar, apenas o índice máxima temperatura máxima (TXx) apresentou correlação positiva ($p < 0,01$) com a região Niño 4, indicando um aumento na temperatura máxima quando a TSM aumenta nesta região de TSM no Pacífico.

Para os índices dependentes da precipitação, assim como para estação de Bebedouro, apenas o índice dias consecutivos secos (CDD) apresentou correlações positiva para as 4

regiões do Oceano Pacífico, indicando aumento nos dias consecutivos secos para região da estação de Mandacaru-BA.

Tabela 6: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Pacífico Equatorial, para a estação de Mandacaru - BA, no período de 1966 – 2014.

Índices/Regiões	Nino 1+2	Nino 3	Nino 3.4	Nino 4
SU (Dias)	0,142	0,182	0,121	0,179
TR (Dias)	0,124	0,100	0,160	0,069
TXx (°C)	0,081	0,187	0,172	0,310
TXn (°C)	0,152	0,213	0,173	0,179
TNx (°C)	0,167	0,142	0,227	0,203
TNn (°C)	0,061	0,049	0,130	0,047
TX10p (Dias)	-0,320	-0,318	-0,210	-0,279
TX90p (Dias)	0,248	0,210	0,042	0,085
TN10p (Dias)	-0,067	-0,081	-0,161	-0,072
TN90p (Dias)	0,155	0,124	0,168	0,070
DTR (°C)	0,227	0,216	0,070	0,126
RX1day (mm)	0,046	0,066	0,075	0,088
RX5day (mm)	-0,040	-0,055	-0,060	-0,101
SDII (mm)	0,173	0,151	0,130	0,082
R10mm (Dias)	-0,107	-0,088	-0,022	0,042
R20mm (Dias)	-0,042	-0,029	0,041	0,062
R30mm (Dias)	-0,027	0,011	0,049	0,052
CDD (Dias)	0,364	0,389	0,376	0,305
CWD (Dias)	-0,108	-0,076	-0,027	0,028
R95p (mm)	0,066	0,086	0,094	0,084
R99p (mm)	0,143	0,171	0,156	0,142
PRCPTOT (mm)	-0,109	-0,096	-0,035	-0,005

A Tabela 7 apresenta as correlações entre as tendências dos índices de extremos climáticos, para a estação de Mandacaru-BA e as regiões do Atlântico Tropical. Assim como para estação de Bebedouro, apenas os índices dependentes da temperatura do ar foram estatisticamente significativos, destes, 6 índices, apresentam correlações positivas com $p < 0,05$ e $p < 0,01$.

Os dias quentes (SU) apresentam correlação positiva com a região TNAI, indicando que quando as águas do Oceano Atlântico Norte estão mais aquecidas favorece o aumento

nos dias quentes para a região da estação de Mandacaru. A máxima temperatura máxima aumenta quando as águas nas regiões TNAI e TSAI estão mais aquecidas. A mínima temperatura máxima também apresenta correlação positiva com a região TNAI.

A porcentagem de dias quentes (TX90p) aumenta com o aumento das TSM nas duas regiões do Atlântico, já a porcentagem de noites frias (TN10p) aumenta com o aumento da TSM na região TNAI. A amplitude térmica (DTR) apresenta correlação positiva com a região TNAI, indicando que quando as águas do Oceano Atlântico Norte estão mais quentes, favorece o aumento na amplitude térmica para a região da estação de Mandacaru - BA.

Tabela 7: Correlações entre as médias anuais dos índices de extremos de temperatura do ar e precipitação pluvial e as anomalias anuais de temperatura da superfície do mar nas regiões do Oceano Atlântico Tropical, para a estação de Mandacaru - BA, no período de 1966 – 2014.

Índices/Regiões	TNAI	TSAI
SU (Dias)	0,429	0,233
TR (Dias)	-0,359	0,108
TXx (°C)	0,401	0,290
TXn (°C)	0,293	0,172
TNx (°C)	-0,072	-0,089
TNn (°C)	-0,370	-0,079
TX10p (Dias)	-0,381	-0,419
TX90p (Dias)	0,556	0,484
TN10p (Dias)	0,408	-0,067
TN90p (Dias)	-0,301	0,129
DTR (°C)	0,546	0,172
RX1day (mm)	0,038	-0,236
RX5day (mm)	-0,255	-0,214
SDII (mm)	-0,140	-0,272
R10mm (Dias)	-0,081	-0,029
R20mm (Dias)	-0,142	-0,080
R30mm (Dias)	-0,193	-0,175
CDD (Dias)	0,292	-0,121
CWD (Dias)	0,279	-0,077
R95p (mm)	-0,093	-0,186
R99p (mm)	0,047	-0,261
PRCPTOT (mm)	-0,189	-0,061

As correlações estatisticamente significativas entre os índices de extremos de temperatura e precipitação, para as duas estações e, as TSM no Oceano Pacífico indicam a influência do El Niño na região de estudo. Quando as águas desse Oceano estão mais aquecidas verifica-se um aumento na temperatura máxima, dias quentes, amplitude térmica diária e, conseqüentemente, um aumento nos dias consecutivos secos.

Além disso, as correlações estatisticamente significativas entre os índices de extremos de precipitação, para as duas estações e, as TSM no Oceano Atlântico não apresentam resultados significativos ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) pois, o Atlântico não explica a precipitação na região de estudo. Os sistemas atuantes (VCAN e as instabilidades associadas às frentes frias) responsáveis pelo período chuvoso na região de estudo não dependem do Dipolo do Atlântico para atuarem.

6. CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, para as duas estações analisadas, não é possível afirmar que a construção da Usina Hidrelétrica de Sobradinho (UHS) e, a consequente formação de seu lago artificial, alterou o microclima local. Visto que as tendências temporais dos índices extremos de precipitação apresentaram poucos valores com significância estatística e, as tendências temporais dos índices extremos de temperatura do ar apresentaram alguns resultados contrários para as duas estações estudadas.

Ainda assim, nota-se, uma tendência de aumento na temperatura máxima, quantidade de dias quentes e, na amplitude térmica diária, para duas estações estudadas. Porém, de acordo com o resultado do teste estatístico de Pettitt, não se pode atribuir o aumento desses índices à formação do lago da Usina Hidrelétrica de Sobradinho.

Adicionalmente, as correlações estatisticamente significativas entre os índices de extremos de temperatura e precipitação, para as duas estações e, as TSM nos Oceanos Pacífico e Atlântico foram positivas. Indicando assim, a influência das TSM dessas regiões sobre o comportamento temporal de alguns dos índices utilizados neste estudo, as quais, podem ter contribuído para um aumento nos dias e noites quentes, na temperatura máxima, na amplitude térmica diária e, nos dias consecutivos secos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMIRABADIZADEH, M.; HUANG, F. Y.; LEE, T. S. Recent Trends in Temperature and Precipitation in the Langat River Basin, Malaysia. **Advances in Meteorology**, v.2015, Article ID 579437, 16 pages, 2015. doi:10.1155/2015/579437.

BAUER, L. **Estimação do coeficiente de correlação de Spearman ponderado**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

CENTRO DE GESTÃO E ESTUDOS ESTRATÉGICOS, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, **A Questão da Água no Nordeste** – Brasília, DF: CGEE, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA
(<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoes hidrologicas/redehidro.aspx>).

Acesso em: Maio, 2016.

COMITÊ BRASILEIRO DE BARRAGENS. A história das barragens no Brasil, Séculos XIX, XX e XXI: cinquenta anos do Comitê Brasileiro de Barragens. Rio de Janeiro: CBDB, 2011. Disponível em: <
http://www.cbdb.org.br/documentos/A_Historia_das_Barragens_no_Brasil.pdf>.

Acesso em: 13 de maio de 2016.

COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO – CHESF. Descrição do aproveitamento de Sobradinho.
(<https://www.chesf.gov.br/SistemaChesf/Pages/SistemaGeracao/Sobradinho.aspx>).

Acesso em: Maio, 2016.

CORREIA, M.F.; SILVA DIAS, M.A. F. Variação do nível do reservatório de Sobradinho e seu impacto sobre o clima da Região. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.8, n.1, p.157-168, 2003.

CORREIA, M.F.; SILVA DIAS, M.A. F.; SILVA ARAGÃO, M.R. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho lake area. Part One: An observational analysis. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.94, p.103-113, 2006a.

CORREIA, M.F.; SILVA DIAS, M.A.F.; SILVA ARAGÃO, M.R. Soil occupation and atmospheric variations over Sobradinho lake área. Part Two: A regional modeling study. **Meteorology and Atmospheric Physics**, v.94, p.115-128, 2006b.

DANTAS, L. G.; SANTOS, C. A. C. dos.; OLINDA, R. A. de. Tendências anuais e sazonais nos extremos de temperatura do ar e precipitação em Campina Grande – PB. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 30, n. 4, 423 - 434, 2015.

EASTERLING, D. R.; EVANS, J. L.; PY, G.; KARL, T. R.; KUNKEL, K. E.; AMBENJE, P. Observed variability and trends in extreme climate events: a brief review. **Bolletín of American Meteorological Society**, v. 81, p. 417–425, 2000.

FERREIRA, N. J.; CHAN, C. S.; SATYAMURTI, P. Análise dos distúrbios ondulatórios de leste sobre o Oceano Atlântico Equatorial Sul. In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, p. 462 – 6, Salvador: SBMET, 1990.

FISCH, G. F.; JANUÁRIO, M., SENNA, R. C. Impacto ecológico em Tucuruí (PA): climatologia. **Acta Amazônica**, v. 20, n. 1, p. 49-60, 1990.

FOLLAND, C. K., and Coauthors: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3–6 June 1997—Breakout Group C: Temperature indices for climate extremes. **Climate Change**, v.42, p.31–43, 1999.

FRICH, P., L. V. ALEXANDER, P. DELLA-MARTA, B. GLEASON, M. HAYLOCK, A. M. G. K. TANK, and T. PETERSON: Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. **Climate Research**, v.19, p.193–212, 2002.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysical**, v. 4, p. 385-400, 1986.

GRIMM, A. M. Verificação de Variações Climáticas na área do Lago de Itaipu – In: **Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 5. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1988.

GROISMAN, P. Y., and Coauthors: Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. **Climate Change**, v.42, p.243–283, 1999.

GUERRA, S. M-G, CARVALHO, A. V. de. Um paralelo entre os impactos das usinas hidrelétricas e termoelétricas. **Revista de Administração de Empresas São Paulo**, v. 35, n. 4, p. 83-90, 1995.

HAYLOCK and C. GOODESS: Interannual variability of European extreme winter rainfall and links with mean large-scale circulation. **International Journal of Climatology**, v.24, p.759–776, 2004.

HAYLOCK, M.R.; PETERSON, T.C.; ALVES, L.M.; AMBRIZZI, T.; ANUNCIÇÃO, Y.M.T.; BAEZ, J.; BARROS, V.R.; BERLATO, M.A.; BIDEGAIN, M.; CORONEL, G.; 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. Trends in total and extreme South American rainfall 1960-2000 and links with sea surface temperature. **Journal of Climate**, v.19, p.1490-1512, 2006.

HU, Y.; MASKEY, S.; UHLENBROOK, S. Trends in temperature and rainfall extremes in the Yellow River source region, China. **Climatic Change**, v.110, p.403-429, 2012.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. **Climate Change 2007 – The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.** Cambridge University Press, Cambridge, 2007.

IPCC – Intergovernmental Panel in Climate Change. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Special Report of Working Group I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2012.

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

KLEIN TANK, A. M. G. K.; G. P. KONNEN: Trends in indices of daily temperature and precipitation extremes in Europe, 1946–99. **Journal of Climate**, v.16, p.3665–3680, 2003.

MENEZES, H.E.A.; BRITO, J.I.B.; SANTOS, C.A.C.; SILVA, L.L. A relação entre a temperatura da superfície dos oceanos tropicais e a duração dos veranicos no estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.23, p.152-161, 2008.

MOLION, L. C. B. e BERNARDO, S. O. Uma revisão dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17,n.1, p.1-10, 2002.

NANDINTSETSEG, B.; GREENE, J. S.; GOULDEN, C. E. Trends in extreme daily precipitation and temperature near Lake Hovsgol, Mongolia. **International journal of climatology**, v.27, p.341–347, 2007.

National Centers for Environmental Prediction – NCEP (http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml). Acesso em: Fevereiro, 2017.

NICHOLLS, N.; MURRAY, W.: Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3–6 June 1997—Breakout Group B: Precipitation. **Climate Change**, v.42, p. 23–29, 1999.

PBMC – **Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Base Científica das Mudanças Climáticas. Contribuição do Grupo de Trabalho 1 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório de Avaliação Nacional sobre Mudanças Climáticas.** Organização de T. Ambrizzi & M. Araujo. Rio de Janeiro, Coppe/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

PEREIRA, S.B; PRUSKI, F. F.; SILVA, D.D. da; RAMOS, M.M. Evaporação líquida no lago de Sobradinho e impactos no escoamento devido à construção do reservatório. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.3, p.346–352, 2009.

PETTITT, A. N. A non-parametric approach to the change-point problem. **Applied Statistics**, v.28, p.126-135, 1979.

SANCHES, F.; FISCH, G. As possíveis alterações microclimáticas devido à formação do lago artificial da hidrelétrica de Tucuruí - PA. **Acta Amazônica**, v.35, n.1, p.41–50, 2005.

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 de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

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

SANTOS, C. A. C., BRITO, J. I. B., RAMANA RAO, T. V., MENEZES, H. E. A. Tendências dos índices de precipitação no estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n.1, p. 39-47, 2009.

SANTOS, C. A. C. dos; MELO, M. M. M. S.; BRITO, J. I. B. de. Tendências de índices de extremos climáticos para o estado do Amazonas e suas relações com a TSM dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 1, p.1-10, 2016.

SANTOS, J. F.; PORTELA, M. M. Quantificação de tendências em séries de precipitação mensal e anual em Portugal Continental, **VIII Seminário Ibero Americano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano**, SEREA 2008, IST, Lisbon, Portugal.

SEN, P. K. "Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau", **Journal of the American Statistical Association**, v. 63, p. 1379-1389, 1968.

SHRESTHA, A. B.; BAJRACHARYA, S. R.; SHARMA, A. R.; DUO, C.; KULKARNI, A. Observed trends and changes in daily temperature and precipitation extremes over the Koshi river basin 1975 2010. **International Journal of Climatology**, v.37, p.1066-1083, 2017.

SIGAUD, L. O efeito das tecnologias sobre as comunidades rurais: o caso das grandes barragens. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v.7, n.18, p.18-40, 1992.

SILVA, W. L.; DEREZYNSKI, C.; CHANG, M.; FREITAS, M.; MACHADO, B. J.; TRISTÃO, L.; RUGGERI, J. Tendências observadas em indicadores de extremos climáticos de temperatura e precipitação no estado do Paraná. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.30, n.2, 181 - 194, 2015.

SNEYERS, R. On the Statistical Analysis of Series of Observations. Technical Note No. 143, WMO No. 415 **World Meteorological Organization**: Geneva, 1990.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Genève: **Organisation Météorologique Mondiale**, 192 p. (OMM Note Technique, 143), 1975.

TAO H.; FRAEDRICH K.; MENZ C.; ZHAI J. Trends in extreme temperature indices in the Poyang Lake Basin, China. **Stoch Environ Res Risk Assess**, v.28, p.1543-1553, 2014.

VINCENT, L. A.; PETERSON, T. C.; BARROS, V. R. MARINO, M. B.; RUSTICUCCI, M.; CARRASCO, G.; RAMIREZ, E.. ALVES, L. M . AMBRIZZI, T; BERLATO, M. A.; GRIMM, A. M.; MARENGO, J. A; MOLION, L. MONCUNILL; D. F.; REBELLO, E.; ANUNCIAÇÃO, Y. M. T. QUINTANA, J.; SANTOS, J. L.; BAEZ, J. CORONEL, J. GARCIA, I. TREBEJO, M. BIDEGAIN, HAYLOCK, M. R.; KAROLY; D. Observed Trends in Indices of Daily Temperature Extremes in South America 1960–2000. **Journal of Climate**, v. 18, n. 12, p. 5011-5023, 2005.

ZHANG, X.; AGUILAR, E.; SENSOY, S.; MELKNYAN, H.; TAGHIYEVA, U.; AHMED, N.; KUTALADZE, N.; RAHIMZADEH, F.; TAGHIPOUR, A.; HANTOSH, T. H.; ALBERT, P.; SEMAWI, M.; ALI, M. K.; HALAL, M.; AL-SHABIBI, A.; AL-OULAN, A.; ZATARI, A.; AL DEAN KHALIL, I.; SAGIR, R.; DEMIRCAN, M.; EKEN, M.; ADIGUZEL, M.; ALEXANDER L.; PETERSON, T. C.; WALLIS, T.; Trends in Middle East climate extremes indices during 1930-2003. **Journal of Geophysical Research-Atmospheres**, v. 110, D22104, 2005a.

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

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

8. APÊNDICE

APÊNDICE A – Rotina computacional para o teste de Mann-Kendall e Sen-Slope.

```
require(trend)
Be_CDD<-read.table("Bebedouro_CDD.txt",header=TRUE)
head(Be_CDD)
Be_CDD = ts(Be_CDD$cdd, start = c(1966, 1), end = c(2014,
1), frequency = 1)
plot.ts(Be_CDD,xlab="Anos",ylab="Bebedouro - CDD
(dias)",axes=FALSE)
min(Be_CDD)
max(Be_CDD)
axis(1,c(1966,1970,1975,1980,1985,1990,1995,2000,2005,
2010,2014),las=2)
axis(2,c(0,20,40,60,80,100,120,140,160))
sen.res <- sens.slope(Be_CDD);sen.res
t <- (1:(length(Be_CDD)))
s.pred <- sen.res$intercept + sen.res$b.sen * t
s.pred.ts <- ts(s.pred)
tsp(s.pred.ts) <- tsp(Be_CDD)
lines(s.pred.ts, lty=2)
savePlot("Sens-Slope_Be_CDD.png", type="png")
# Teste de Mann-Kendall
res <- mk.test(Be_CDD)
summary.trend.test(res)
```

Logo, a rotina acima fornece o resultado para os testes de Mann-Kendall e Sen-Slope, para o índice CDD, da estação de Bebedouro - PE, para o período de 1966 a 2014. Para se obter estes testes para os demais índices, bem como, para a estação de Mandacaru - BA, foi utilizado a mesma rotina, fazendo, quando necessário, algumas substituições. São elas:

- 1) Para se obter os testes para a estação de Mandacaru substituiu-se “Be” por “Ma” e, “Bebedouro” por “Mandacaru”;
- 2) Para se obter os testes para os demais índices, é necessário substituir a sigla do índice. Por exemplo, para o cálculo do índice CWD, substituiu-se “CDD” por “CWD”. E assim, para os demais índices;
- 3) O eixo vertical dos gráficos variava para cada índice e estação utilizada. Sendo assim, foi editado o nome a ser plotado no gráfico, bem como, os valores do eixo, a medida que o teste para cada índice, e para cada estação era calculado.

APÊNDICE B – Rotina computacional para o teste de Pettitt.

```
require(trend)
bebedouro_CDD<-
read.table("bebedouro_CDD.txt",header=TRUE)
head(bebedouro_CDD)
bebedouro_CDD = ts(bebedouro_CDD$cdd, start =
c(1966,1), end = c(2014, 1), frequency = 1)
min(bebedouro_CDD)
max(bebedouro_CDD)
plot.ts(bebedouro_CDD,xlab="Anos",ylab="Bebedouro
CDD (dias)",axes=FALSE)
axis(1,c(1966,1970,1975,1980,1985,1990,1995,2000,2005
,2010,2014),las=2,cex.axis=0.85)
axis(2,c(0,20,40,60,80,100,120,140,160,180),
cex.axis=0.85)
s.res <- pettitt.test(bebedouro_CDD)
n <- s.res$nobs
i <- s.res$estimate
s.1 <- mean(bebedouro_CDD[1:i])
s.2 <- mean(bebedouro_CDD[(i+1):n])
s <- ts(c(rep(s.1,i), rep(s.2,(n-i))))
tsp(s) <- tsp(bebedouro_CDD)
lines(s, lty=2)
print(s.res)
savePlot("Pettitt_Be_CDD.png",type="png")
```

A rotina acima fornece o resultado para o teste de Pettitt para o índice CDD, da estação de Bebedouro - PE, para o período de 1966 a 2014. Para se obter este teste para os demais índices, bem como, para a estação de Mandacaru - BA, foi utilizada a mesma rotina computacional, fazendo, quando necessário, algumas substituições. Estas substituições são as mesmas citadas no item Apêndice A desta seção.

APÊNDICE C - Rotina computacional para o teste de Spearman.

```
require (trend)
bebedouro_CDD<-
read.table("bebedouro_CDD.txt",header=TRUE)
head(bebedouro_CDD)
NINO_1<-read.table("NINO_1.txt",header=TRUE)
head(NINO_1)
bebedouro_CDD = ts(bebedouro_CDD$cdd, start = c(1966, 1),
end = c(2014, 1), frequency = 1)
NINO_1 = ts(NINO_1$nino_1, start = c(1966, 1),
end = c(2014, 1), frequency = 1)
cor.test(bebedouro_CDD,NINO_1, meth="spearman")
```

A rotina acima fornece o resultado para a correlação de Spearman entre o índice CDD, da estação de Bebedouro - PE, e a região de TSM Niño 1 + 2, para o período de 1966 a 2014. Para se obter esta correlação para os demais índices, bem como, para a estação de Mandacaru - BA e, para as demais regiões de TSM, foi utilizada a mesma rotina computacional, fazendo, quando necessário, algumas substituições. Estas substituições são as mesmas citadas no Apêndice A desta seção, e além destas, é necessário, substituir as regiões de TSM na rotina, para que a correlação para as demais regiões seja calculada. Por exemplo, para calcular a correlação para a região Niño 3 e o índice CDD da estação de Bebedouro, substituiu-se “*NINO_1*” por “*NINO_3*”.